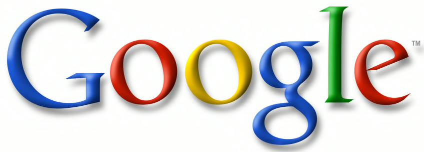
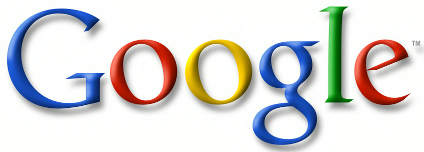




MÉMOIRES

DE

L'INSTITUT NATIONAL GENEVOIS.

IMPRIMERIE VANEY, CROIX-D'OR, 24.

MÉMOIRES

DE

L'INSTITUT NATIONAL GENEVOIS.

TOME QUATRIÈME.

ANNÉE 1856.



GENÈVE,

CHEZ KESSMANN, ÉDITEUR, LIBRAIRE DE L'INSTITUT GENEVOIS, RUE DU RHONE, 171,

ET CHEZ LES PRINCIPAUX LIBRAIRES DE LA SUISSE ET DE L'ÉTRANGER.

1857

EXTRAIT
DU RÈGLEMENT GÉNÉRAL DE L'INSTITUT NATIONAL GENEVOIS.

« ART. 33. L'Institut publie un *Bulletin* et des *Mémoires*.

» ART. 34. Le Bulletin paraît à des époques indéterminées qui n'excèdent cependant pas trois mois; les Mémoires formeront chaque année un volume.

» ART. 35. Ces publications sont signées par le Secrétaire général.

» ART. 36. Le Bulletin renferme le sommaire des travaux intérieurs des cinq Sections. La publication en est confiée au Secrétaire général, qui les rédige avec la coopération des Secrétaires de chaque Section.

» ART . 37. Les Mémoires *in-extenso,* destinés au Recueil annuel, sont fournis par les Sections.

» Les Mémoires des trois catégories de membres de l'Institut (effectifs, honoraires, correspondants) sont admis dans le Recueil.

» ART. 38. A ce Recueil pourront être jointes les gravures, lithographies, morceaux de musique, etc., dont la publication aura été approuvée par la Section des Beaux-Arts.

» ART. 39. Le Recueil des Mémoires sera classé en séries correspondantes aux cinq Sections de l'Institut, de manière à pouvoir être détachées au besoin et être acquises séparément.

» ART. 40. La publication du Recueil des Mémoires est confiée au Comité de gestion. »

Le Secrétaire général de l'Institut National Genevois,
E.-H. GAULLIEUR, professeur.

BUREAUX DE L'INSTITUT NATIONAL GENEVOIS.

PRÉSIDENT DE L'INSTITUT, M. James FAZY.
Secrétaire général, M. E.-H. GAULLIEUR, professeur d'histoire à l'Académie de Genève.

Section des Sciences naturelles et mathématiques : Président, M. le professeur Ch. VOGT. — Vice-Président, M. Elie RITTER, docteur ès-sciences. — Secrétaire, M. MOULINIÉ fils.

Section des Sciences morales et politiques, d'Archéologie et d'Histoire, Président, M. James FAZY. — Vice-Président, M. MASSÉ, président du Tribunal criminel. — Secrétaire, M. GAULLIEUR, professeur. — Vice-Secrétaire, M. GRIVEL, archiviste.

Section de Littérature : Président, M. Jules VUY, avocat. — Vice-Président, M. CHERBULIEZ-BOURRIT, professeur. — Secrétaire, M. Henri BLANVALLET. — Secrétaire-Adjoint, M. John BRAILLARD.

Section des Beaux-Arts : Président, M. Franç. DIDAY. — Secrétaire, M. François GRAST.

Section d'Industrie et d'Agriculture : Président, M. Marc VIRIDET. — Secrétaire, M. OLIVET fils, docteur en médecine. — Secrétaire-Adjoint, M. BOUFFIER aîné. — Trésorier, M. Hugues DARIER.

TABLE DES MATIÈRES DU TOME QUATRIÈME.

I.

II.

III.

La suite de l'*Essai jurassique* sera donnée dans le prochain volume des Mémoires.

MÉMOIRE

SUR

LES NOMBRES INFÉRIEURS ET PREMIERS

A

UN NOMBRE DONNÉ.

PAR

G. OLTRAMARE

PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES A L'ACADÉMIE DE GENÈVE
ET MEMBRE DE L'INSTITUT GENEVOIS.

MÉMOIRE

SUR

LES NOMBRES INFÉRIEURS ET PREMIERS

A

UN NOMBRE DONNÉ.



§ 1. Soit a un nombre entier quelconque, nous pourrons poser:

$$a = \mu^m \nu^n \rho^p \ldots.$$

$\mu, \nu, \rho, \ldots$ représentant des nombres premiers absolus; de plus, nous désignerons, pour abréger, par a_1 le produit de ces nombres premiers élevés seulement à la première puissance, de sorte que

$$a_1 = \mu \nu \rho \ldots$$

Cela posé, on sait que la multitude des nombres entiers inférieurs et premiers à a, en comprenant l'unité dans cette multitude, est donnée par la formule

$$a\left(1 - \frac{1}{\mu}\right)\left(1 - \frac{1}{\nu}\right)\left(1 - \frac{1}{\rho}\right)\ldots = \mu^{m-1}(\mu-1)\,\nu^{n-1}(\nu-1)\,\rho^{p-1}(\rho-1)\ldots$$

Si donc nous représentons par $\varphi(a)$ l'opération qui consiste à décomposer a dans ses facteurs premiers, et à former le produit de ces facteurs essentiellement différents élevés à une puissance moindre d'une unité par chacun de ces facteurs premiers diminué d'une unité, de sorte que

$$\varphi(a) = \varphi(\mu^m \nu^n \rho^p \ldots) = \mu^{m-1}(\mu-1)\,\nu^{n-1}(\nu-1)\,\rho^{p-1}(\rho-1)\ldots$$

$\varphi(a)$ représentera la multitude des nombres inférieurs et premiers à a. Pour faciliter la représentation des valeurs dont nous aurons à faire usage, nous conviendrons de désigner par :

$a \big]_n^m$ la multitude des nombres premiers à a et compris entre m et n

$\Sigma \left(a \big]_n^m \right)^k$ la somme des puissances k^{mes} des nombres premiers à a et compris entre m et n.

§ 2. Il résulte des conventions que nous venons d'établir que :

$$a \big]^a = \varphi(a)$$

comme d'ailleurs il est manifeste qu'il existe entre ka et $(k+1)\,a$ autant de nombres premiers à a qu'il y en a entre o et a, nous aurons, quelle que soit la valeur du nombre entier m,

$$a \big]^{ma} = m\,\varphi(a) \qquad (1)$$

et par suite

$$a \big]_{na}^{ma} = (m-n)\,\varphi(a) = a \big]^{(m-n)\,a} \qquad (2)$$

si dans la formule (1) nous posons $ma = n$, nous en déduirons

$$a \big]^n = \frac{n}{a}\,\varphi(a)$$

si n est divisible par a, cette relation est parfaitement exacte, et l'on peut remarquer qu'elle conserve encore toute sa rigueur, lorsque $\frac{n}{a}\,\varphi(a)$ est un nombre entier, bien que n ne soit pas divisible par a.

En effet soit $e = a \big]^n$ la multitude des nombres entiers inférieurs à n et premiers à a, nous aurons, quelle que soit la valeur du nombre entier x :

$$ex = a \big]^{nx}$$

et si nous posons

$$nx = ma$$

nous aurons

$$a \big]^{nx} = a \big]^{ma} = m\,\varphi(a) = ex$$

et par suite

$$e = \frac{n}{a}\,\varphi(a)$$

§ 3. THÉORÈME I. — *La somme des nombres inférieurs à ma et premiers à a est donnée par la formule :*

$$\Sigma \left(a \rceil^{ma} \right) = \frac{m^2}{2} a \varphi (a)$$

si les nombres inférieurs et premiers à a, rangés par ordre de grandeur, sont représentés par

$$1, \quad a', \quad a'', \ldots \quad a^{(k)}$$

nous aurons que l'ensemble des nombres inférieurs à ma, et premiers à a sera donné par :

$$\begin{array}{rrr}
1\ , & a'\ , \ldots & a^{(k)} \\
a + 1\ , & a + a'\ , \ldots & a + a^{(k)} \\
2a + 1\ , & 2a + a'\ , \ldots & 2a + a^{(k)} \\
\ldots & \ldots & \\
(m-1)\, a + 1\ , & (m-1)\, a + a'\ , \ldots & (m-1)\, a + a^{(k)}
\end{array}$$

or, comme la multitude des nombres 1, a', a'', . . . $a^{(k)}$ est égale à $a \rceil^a = \varphi (a)$ nous aurons

$$\Sigma \left(a \rceil^{ma} \right) = \frac{m(m-1)}{2} a \left(a \rceil^a \right) + m \Sigma \left(a \rceil^a \right)$$

qu'on peut écrire sous la forme

$$\Sigma \left(a \rceil^{ma} \right) = \frac{m^2}{2} a \varphi (a) + m \left\{ \Sigma \left(a \rceil^a \right) - \frac{1}{2} a \varphi (a) \right\}$$

Il résulte de cette dernière relation que si nous posons :

$$\Sigma \left(a \rceil^a \right) = \frac{a}{2} \varphi (a) + \Psi (a)$$

nous obtiendrons

$$\Sigma \left(a \rceil^{ma} \right) = \frac{m^2}{2} a \varphi (a) + m \Psi (a)$$

il est facile de reconnaître que :

$$\Psi (a) = 0$$

en effet, puisque les nombres 1, a', a'', . . . $a^{(k)}$ sont rangés par ordre de grandeur, nous aurons

$$1 + a^{(k)} = a$$
$$a' + a^{(k-1)} = a$$
$$\ldots$$

et par conséquent

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{a}\right) = 1 + a' + \ldots + a^{(k-1)} + a^{(k)} = \frac{a\left(a\,\rceil^{a}\right)}{2} = \frac{1}{2}\,a\,\varphi(a)$$

relation qui montre que $\psi(a) = 0$; nous aurons donc

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right) = \frac{m^2}{2}\,a\,\varphi(a) \qquad (1)$$

§ 4. Si nous remarquons que la formule que nous venons d'établir, peut s'écrire en supposant n différent de m :

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right) = \frac{m^2}{2}\,a\,\varphi(a)$$

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{na}\right) = \frac{n^2}{2}\,a\,\varphi(a)$$

nous en déduirons

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right) : \Sigma\left(a\,\rceil^{na}\right) = m^2 : n^2$$

et par suite nous pouvons dire :

Théorème II. — *Si M et N sont deux nombres entiers qui ont un diviseur commun a, la somme de tous les nombres inférieurs à M et premiers à a sera à la somme de tous les nombres inférieurs à N et premiers à a dans le rapport de M^2 à N^2.*

La formule (1) du paragraphe précédent nous donne

$$\Sigma\left(a\,\Big|_{na}^{ma}\right) = \frac{m^2 - n^2}{2}\,a\,\varphi(a)$$

nous aurons semblablement

$$\Sigma\left(a\,\Big|_{n'a}^{m'a}\right) = \frac{m'^2 - n'^2}{2}\,a\,\varphi(a)$$

et par conséquence

$$\Sigma\left(a\,\Big|_{na}^{ma}\right) : \Sigma\left(a\,\Big|_{n'a}^{m'a}\right) = m^2 - n^2 : m'^2 - n'^2$$

cette proportion est une généralisation du théorème précédent qu'on peut énoncer:

Théorème III. *Si M, N, M' et N' sont quatre nombres entiers qui ont un commun diviseur a, la somme de tous les nombres compris entre M et N et premiers à a sera à la somme de tous les nombres compris entre M' et N' et premiers à a dans le rapport de $M^2 - N^2$ à $M'^2 - N'^2$.*

Nous aurons en vertu de l'équation (2) du § 2

$$a \Big\rceil^{(m^2 - n^2)\, a^2} = (m^2 - n^2)\, a\, \varphi(a)$$

comme d'ailleurs on a :

$$\Sigma \left(a \Big\rceil_{na}^{ma} \right) = \frac{m^2 - n^2}{2}\, a\, \varphi(a)$$

nous aurons

$$\Sigma \left(a \Big\rceil_{na}^{ma} \right) = \frac{1}{2} \left(a \Big\rceil^{(m^2 - n^2)\, a^2} \right)$$

et l'on peut dire :

Théorème IV. *La somme des nombres compris entre ma et na et premiers à a, est égale à la moitié du nombre qui représente la multitude des nombres inférieurs à* $(m^2 - n^2)\, a^2$ *et premiers à a.*

En supposant $n = 0$, on obtient

$$\Sigma \left(a \Big\rceil^{ma} \right) = \frac{1}{2} \left(a \Big\rceil^{m^2 a^2} \right)$$

c'est-à-dire que : *La somme des nombres inférieurs à ma et premiers à a, est égale à la moitié du nombre qui représente la multitude des nombres inférieurs à* $m^2 a^2$ *et premiers à a.*

Si l'on remarque que l'on a identiquement

$$\Sigma \left(a \Big\rceil_{na}^{ma} \right) = \frac{m^2 - n^2}{2}\, a\, \varphi(a) = \frac{a}{2\varphi(a)} (m + n)\, \varphi(a)\, (m - n)\, \varphi(a) = \frac{a}{2\varphi(a)} \left(a \Big\rceil^{(m+n)\, a} \right) \left(a \Big\rceil^{(m-n)\, a} \right)$$

en supposant $a = 2$, on obtiendra

$$\Sigma \left(2 \Big\rceil_{2n}^{2m} \right) = 2 \Big\rceil^{2(m+n)} \cdot 2 \Big\rceil^{2(m-n)}$$

théorème qu'on peut énoncer de la manière suivante :

Théorème V. *La somme des nombres impairs compris entre deux nombres 2m et 2n est égale au produit des nombres qui expriment la multitude des nombres impairs inférieurs à* $2\,(m + n)$ *et* $2\,(m - n)$.

§ 5. Si nous remarquons que l'on a :

$$\Sigma \left(a \Big\rceil^{ma} \right) = \frac{m^2}{2}\, a\, \varphi(a)$$

$$\Sigma \left(b \Big\rceil^{nb} \right) = \frac{n^2}{2}\, b\, \varphi(b)$$

$$\Sigma\left(c\,\rceil^{pc}\right) = \frac{p^2}{2}\, c\, \varphi(c) \quad .$$

. . . .

nous aurons, en supposant $a, b, c, \ldots$ premiers entr'eux :

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)\Sigma\left(b\,\rceil^{nb}\right)\Sigma\left(c\,\rceil^{pc}\right)\ldots = \frac{m^2 n^2 p^2 \ldots}{2^f}\,\varphi(a^2 b^2 c^2 \ldots) = \frac{1}{2^{f-1}}\,\Sigma\left(a b c \ldots\rceil^{mnp\text{-}abc}\right)$$

f désignant le nombre des facteurs qu'on envisage.

En supposant qu'on en considère deux seulement, nous avons :

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)\Sigma\left(b\,\rceil^{nb}\right) = \frac{1}{2}\,\Sigma\left(ab\,\rceil^{mnab}\right) = \frac{1}{4}\left(ab\,\rceil^{m^2 n^2 a^2 b^2}\right)$$

soit $m = b$ et $n = a$, il en résulte

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ab}\right)\ \Sigma\left(b\,\rceil^{ab}\right) = \frac{1}{2}\,\Sigma\left(ab\,\rceil^{a^2 b^2}\right) = \frac{1}{4}\left(ab\,\rceil^{a^4 b^4}\right)$$

soit $ab = m$ et de plus d et d', d'' et d''' etc., etc., deux diviseurs de m premiers entr'eux, tels que

$$m = dd' = d'' d''' = \ldots$$

nous aurons :

$$\Sigma\left(d\,\rceil^{m}\right)\Sigma\left(d'\,\rceil^{m}\right) = \Sigma\left(d''\,\rceil^{m}\right)\Sigma\left(d'''\,\rceil^{m}\right) = \ldots = \frac{1}{2}\,\Sigma\left(m\,\rceil^{m^2}\right) = \frac{1}{4}\left(m\,\rceil^{m^4}\right)$$

§ 6. **Théorème VI.** *La somme des carrés des nombres inférieurs à ma et premiers à a, est donnée par la formule*

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)^2 = \frac{m^3}{3}\,a^2\,\varphi(a) + (-1)^\alpha \frac{m}{2.\,3}\,a\,\varphi(a_1) \qquad (1)$$

dans laquelle α indique le nombre des facteurs premiers qui entrent dans a, et a_1 le produit de ces mêmes facteurs.

Pour démontrer cette formule, nous ferons remarquer qu'en désignant par a_k l'un quelconque des nombres inférieurs et premiers à a, en posant :

$$na + a_k$$

n devant recevoir toutes les valeurs inférieures à m, cette expression représentera tous les nombres inférieurs à ma et premiers à a; nous pourrons donc écrire :

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)^2 = \Sigma\,(na + a_k)^2 = a^2\left(a\,\rceil^{a}\right)\Sigma n^2 + 2a\,\Sigma\left(a\,\rceil^{a}\right)\Sigma n + \Sigma\left(a\,\rceil^{a}\right)^2\,\Sigma 1$$

et en effectuant les sommations, nous obtiendrons

$$\Sigma\Big(a\Big]^{ma}\Big)^2 = \frac{m^3}{3}a^2\varphi(a) + m\Big\{\Sigma\Big(a\Big]^{a}\Big)^2 - \frac{1}{3}a^2\varphi(a)\Big\}$$

en posant pour abréger

$$\Sigma\Big(a\Big]^{a}\Big)^2 = \frac{1}{3}a^2\varphi(a) + \psi(a) \qquad (2)$$

nous aurons

$$\Sigma\Big(a\Big]^{ma}\Big)^2 = \frac{m^3}{3}a^2\varphi(a) + m\,\psi(a) \qquad (3)$$

Pour déterminer la forme de la fonction $\psi(a)$, supposons

$$a = \mu^t b$$

μ étant un nombre premier absolu qui entre dans a, et faisons dans la formule (2) $a = \mu^{kt} b$, et dans la formule (3) $m = \mu^{kt-t}$, nous aurons, en remarquant que

$$\Sigma\Big(\mu^{kt} b\Big]^{\mu^{kt} b}\Big)^2 = \Sigma\Big(\mu^t b\Big]^{\mu^{kt} b}\Big)^2$$

les deux formules

$$\Sigma\Big(\mu^t b\Big]^{\mu^{kt} b}\Big)^2 = \frac{1}{3}\mu^{3kt-1}\,b^2\varphi(\mu b) + \psi(\mu^{kt} b)$$

$$\Sigma\Big(\mu^t b\Big]^{\mu^{kt} b}\Big)^2 = \frac{1}{3}\mu^{3kt-1}\,b^2\varphi(\mu b) + \mu^{kt-t}\,\psi(\mu^t b)$$

desquelles on déduit

$$\frac{\psi(\mu^t b)}{\mu^t b} = \frac{\psi(\mu^{kt} b)}{\mu^{kt} b} \qquad (4)$$

on voit par là que la fonction

$$\frac{\psi(a)}{a}$$

jouit de la propriété de conserver la même valeur lorsqu'on y substitue a^p au lieu de a, ou même lorsqu'à la place d'un des facteurs premiers de a, on met un facteur élevé à telle puissance qu'on veut.

Si $\psi(a)$ était une fonction continue, on pourrait conclure de ce qui précède, que

$$\frac{\psi(a)}{a}$$

est une quantité constante qu'on déterminerait à l'aide d'une valeur particulière qu'on donnerait à a; mais, dans le cas présent, cette conclusion serait fausse, puisque a doit

nécessairement être un nombre entier, et il est manifeste que si nous désignons, comme nous en sommes convenu, par $a_{,}$ le produit des nombres premiers qui entrent dans a, nous pouvons poser en vertu de la relation (4)

$$\psi(a) = a\,\xi(a_{,}) \qquad (5)$$

ξ désignant une fonction arbitraire que nous allons chercher à déterminer en prenant pour a différentes valeurs.

Si nous supposons d'abord $a = \mu$ nous aurons :

$$\Sigma\left(\mu\right]^{\mu}\Big)^2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \ldots + (\mu - 1)^2 = \frac{2\mu^3 - 3\mu - \mu}{6}$$

et par suite l'équation (2) nous donnera :

$$\psi(\mu) = -\frac{\mu^2 - \mu}{2.3} = -\frac{1}{2.3}\mu\,\varphi(\mu)$$

la fonction arbitraire $\xi(a_{,}) = \xi(\mu)$ sera donc $-\dfrac{1}{2.\ 3}\varphi(\mu)$.

Ainsi donc, en vertu de la formule (3) on obtiendra la relation (1) qui doit être considérée comme démontrée dans le cas où a est un nombre premier ou une puissance quelconque d'un nombre premier.

Si nous supposons en second lieu $a = b\rho$, b représentant le produit de tant de facteurs premiers qu'on voudra différents entr'eux ainsi que du nombre premier ρ, nous aurons à l'aide des relations (2) et (3)

$$\Sigma\left(b\rho\right]^{b\rho}\Big)^2 = \frac{1}{3}b^2\rho^2(\rho - 1)\varphi(b) + \psi(b\rho)$$

$$\Sigma\left(b\right]^{b}\Big)^2 = \frac{1}{3}b^2\varphi(b) + \psi(b)$$

$$\Sigma\left(b\right]^{b\rho}\Big)^2 = \frac{\rho^3}{3}b^2\varphi(b) + \rho\,\psi(b)$$

comme d'ailleurs il est facile de reconnaître que l'on a

$$\Sigma\left(b\rho\right]^{b\rho}\Big)^2 + \rho^2\,\Sigma\left(b\right]^{b}\Big)^2 = \Sigma\left(b\right]^{b\rho}\Big)^2$$

on obtiendra en effectuant les substitutions

$$\psi(b\rho) = -\rho(\rho - 1)\psi(b)$$

et par suite

$$\xi(b\rho) = -(\rho - 1)\xi(b)$$

En supposant successivement b égal à un nombre premier, puis au produit de deux, de trois, etc., nombres premiers, on obtient :

$$\xi(\mu) = -\frac{1}{2.3}(\mu-1) = -\frac{1}{2.3}\varphi(\mu)$$

$$\xi(\mu\nu) = \frac{1}{2.3}(\mu-1)(\nu-1) = \frac{1}{2.3}\varphi(\mu\nu)$$

$$\xi(\mu\nu\rho) = -\frac{1}{2.3}(\mu-1)(\nu-1)(\rho-1) = -\frac{1}{2.3}\varphi(\mu\nu\rho)$$

. . . .

$$\xi(a_,) = (-1)^\alpha \frac{1}{2.3}\varphi(a_,)$$

on aura donc la relation (1) à l'aide de cette dernière relation et des équations (3) et (5).

On établira d'une manière analogue les formules suivantes :

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)^3 = \frac{m^4}{4}a^3\varphi(a) + (-1)^\alpha\frac{m^2}{4}a^2\varphi(a_,)$$

$$\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)^4 = \frac{m^5}{5}a^4\varphi(a) + (-1)^\alpha\frac{m^3}{3}a^3\varphi(a_,) - (-1)^\alpha\frac{m}{2.3.5}a\,\xi(a_,)$$

en représentant par $\xi(a_,)$ le produit $(\mu^3-1)(\nu^3-1)(\rho^3-1)\ldots$ $\mu, \nu, \rho, \ldots$ désignant les différents nombres premiers qui entrent dans a.

§ 7. Si dans la formule (1) du § précédent, nous faisons $\varphi(a_,) = a_, \frac{\varphi(a)}{a}$ nous en déduisons :

$$\frac{\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)^2}{\Sigma\left(a\,\rceil^{na}\right)^2} = \frac{m}{n}\left\{\frac{2m^2a^2 + (-1)^\alpha a_,}{2n^2a^2 + (-1)^\alpha a_,}\right\}$$

qu'on peut écrire

$$\frac{\Sigma\left(a\,\rceil^{ma}\right)^2}{\Sigma\left(a\,\rceil^{na}\right)^2} = \frac{m^3}{n^3} + \frac{(-1)^\mu m(n^2-m^2)}{n^3(2n^2a^2 + (-1)^\alpha a_,)}$$

Si l'on remarque que la fraction

$$\frac{(-1)^\alpha m(n^2-m^2)}{n^3(2n^2a^2 + (-1)^\alpha a_,)}$$

est d'autant plus petite 1° que m et n ont des valeurs plus rapprochées,

2° que n est plus grand,

3° que a est plus grand,

on pourra dans ces différents cas poser avec beaucoup d'approximation

$$\frac{\Sigma\left(a\rceil^{ma}\right)^2}{\Sigma\left(a\rceil^{na}\right)^2} = \frac{m^3}{n^3}$$

formule assez remarquable en ce que le nombre a n'entre pas dans le second membre.

En supposant $a = 2$ on obtient

$$\frac{m}{n} = \sqrt[3]{\frac{1 + 3^2 + 5^2 + \ldots + (2m-1)^2}{1 + 3^2 + 5^2 + \ldots + (2n-1)^2}}$$

formule d'autant plus exacte que m et n sont plus grands et ont des valeurs plus rapprochées.



MÉMOIRE

SUR

LES QUANTITÉS INFINIES.

PAR

G. OLTRAMARE

PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES A L'ACADÉMIE DE GENÈVE
ET MEMBRE DE L'INSTITUT GENEVOIS.

MÉMOIRE

SUR

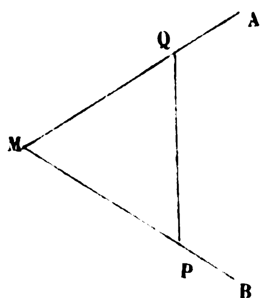
LES QUANTITÉS INFINIES.



§ 1. On entend généralement par *quantité infinie* une quantité plus grande que toute grandeur assignable. Or, comme il n'existe pas dans la nature de telle quantité, il s'en suit que toute quantité infinie n'est qu'une pure abstraction de notre esprit, abstraction par laquelle nous ôtons à une quantité finie l'idée de limite.

Il résulte de là, que, lorsque nous voudrons nous faire une idée précise d'une semblable grandeur, il faudra la concevoir engendrée par une quantité finie que nous appellerons sa *génératrice;* celle-ci, en augmentant indéfiniment, se confondra avec la quantité infinie dont on veut représenter la grandeur.

Qu'on se propose de former l'expression de la surface infinie comprise entre deux droites infinies MA et MB; nous considérerons la surface finie comprise dans l'angle M et limitée par une droite quelconque PQ; puis, par la pensée, nous concevrons que cette droite s'éloigne de plus en plus du sommet M, de manière à ce que la surface du triangle MQP, qui sera la génératrice de la surface, devienne plus grande que toute quantité assignable, et nous aurons la surface infinie proposée.



Nous voyons par là, que, lorsque nous voudrons exprimer analytiquement une quantité infinie, il faudra commencer par déterminer sa génératrice. Celle-ci sera donnée par une fonction de une ou plusieurs variables, dont la forme sera telle qu'en donnant aux

variables des valeurs se rapprochant simultanément de certaines limites, qui elles-mêmes peuvent être infinies, la fonction acquerra une valeur de plus en plus grande, sans qu'on puisse fixer de borne à sa grandeur.

En général, nous représenterons par

$$\Big[\varphi(x, y, \ldots)\Big]^{\substack{x=x, \\ y=y, \\ \ldots}}$$

l'expression analytique d'une quantité infinie dont la fonction génératrice $\varphi(x, y, \ldots)$ est telle qu'en donnant aux variables $x, y, \ldots$ des valeurs se rapprochant simultanément des limites $x, y, \ldots$ la fonction devient de plus en plus grande, sans qu'on puisse assigner de limite à sa grandeur.

C'est ainsi que les expressions

$$\left[\frac{x^n}{x^m - a^m}\right]^{x=a}$$

$$\left[a^{2^{p+1}-1}\right]^{p=\infty} \quad a > 1$$

$$\Big[(a+b)(a^2+b^2)(a^4+b^4)\ldots(a^{2^p}+b^{2^p})\Big]^{p=\infty}$$

représentent des quantités infinies dont les modes de génération sont différents.

Bien que les quantités infinies n'existent que par une conception de notre esprit, et qu'on ne puisse les exprimer dans leurs valeurs absolues, cependant on est souvent appelé à les considérer dans les rapports qu'elles peuvent avoir les unes avec les autres, et nous pensons qu'il ne sera pas inutile d'attirer l'attention sur ce sujet, qui ne laisse pas de présenter quelques difficultés.

§ 2. Si l'on remarque que dès l'instant qu'on cherche à représenter les grandeurs on voit apparaître les quantités infinies, on reconnaîtra que ce n'est qu'en remontant à cette représentation même qu'on pourra se rendre compte de la cause qui leur donne naissance, en approfondir la nature et apprécier ainsi l'avantage que l'analyse en peut retirer.

Toute grandeur ou quantité a une certaine relation avec une seconde grandeur de même espèce, à laquelle on la compare, c'est-à-dire qu'elle est plus grande, égale

ou plus petite, qu'elle y est contenue ou la contient d'une certaine manière; le résultat de cette comparaison est le *rapport* de ces deux quantités.

L'expression du rapport d'une quantité à une autre de même espèce que l'on suppose conserver une valeur fixe, porte le nom de *nombre;* c'est donc au moyen des nombres que nous représentons les différentes quantités.

Concevons qu'on nous propose de représenter une quantité quelconque plus petite, égale ou plus grande que l'unité à laquelle on veut la comparer, unité qui doit avoir été préalablement définie.

Si la quantité donnée contient un nombre exact de fois cette unité, sa représentation est *un nombre entier*.

Si l'unité n'entre pas un nombre exact de fois dans la quantité proposée, on peut cependant, à l'aide d'une convention, exprimer en général la quantité donnée au moyen de deux nombres entiers.

Pour cela, supposons qu'on divise l'unité elle-même en un certain nombre de parties égales.

D'abord en deux, et examinons si la quantité proposée peut être égale à une, deux, trois, etc., de ces parties.

Puis en trois, et examinons de même si la quantité proposée peut être égale à une, deux, trois, etc., de ces parties.

Continuons ainsi à diviser l'unité en autant de parties égales qu'il y a d'unités dans la suite naturelle des nombres entiers, quatre, cinq, six, etc., jusqu'à ce qu'on trouve en combien de parties égales il faut diviser l'unité et combien l'on doit prendre des parties qui résultent de cette division, pour avoir une quantité égale à la quantité proposée. Tel est le principe de convention que l'on doit suivre pour se faire une juste idée de la grandeur d'une quantité par le moyen de deux nombres entiers.

En procédant de cette manière, il pourra arriver :

1° Qu'en divisant l'unité en un nombre convenable de parties égales on puisse égaler une quantité proposée à un certain nombre de ces parties.

2° Que, quel que soit le nombre des parties égales dans lequel on divise l'unité, il n'existe aucun nombre de ces parties qui puisse représenter exactement la quantité proposée.

§ 3. Pour nous rendre compte de cette dernière circonstance, considérons l'unité comme divisée en un certain nombre de parties égales; une quantité quelconque, appartenant à ce second cas, sera évidemment plus grande que le plus grand nombre de ces parties qu'elle contient, et plus petite que ce même nombre, augmenté d'une de ces parties.

Nous pouvons donc dire qu'en égalant la quantité proposée au nombre le plus grand de ces parties qu'elle contient, nous aurons une quantité plus petite que la quantité donnée; mais en ajoutant une seule de ces parties, nous aurons une quantité plus grande. Si, en outre, nous faisons attention que les parties, dans lesquelles on suppose l'unité divisée, sont d'autant plus petites que le nombre en est plus grand, la quantité à laquelle nous égalerons la quantité proposée différera d'autant moins de la quantité donnée que nous supposerons l'unité divisée en plus de parties; si donc nous considérons l'unité comme divisée dans le plus grand nombre de parties possible, la grandeur des parties sera la plus petite quantite possible, et la quantité à laquelle nous égalons la quantité proposée différera de la quantité donnée le moins qu'il lui sera possible, ou, en d'autres termes, lui sera rigoureusement égale.

Nous voyons ainsi que ce second cas n'est qu'un cas particulier du premier, celui qui exige que, pour pouvoir égaler la quantité proposée à un certain nombre de parties de l'unité, il faille diviser l'unité en un nombre infini de parties égales.

Les quantités qui donnent lieu à ce cas exceptionnel portent le nom de *quantités irrationnelles,* par opposition aux quantités qui, rentrant dans le premier cas, portent celui de *quantités rationnelles*. Ainsi, par sa nature, une quantité n'est ni rationnelle ni irrationnelle; elle reçoit cette dénomination selon qu'elle peut ou ne peut pas être exprimée par le mode de représentation dont le calculateur se sert.

Lorsqu'une quantité n'est pas exprimable sous forme de fraction, elle ne peut en aucune façon être mise sous la forme de $\frac{a}{b}$. Cependant si l'on remarque qu'en donnant à b et par suite à a des valeurs de plus en plus grandes, la fraction $\frac{a}{b}$ s'approche indéfiniment de la valeur de la quantité qu'on veut représenter, il en résultera qu'en supposant b et par suite a égaux à l'infini, la quantité irrationnelle proposée sera représentée par le rapport de deux quantités infinies; ainsi donc : l'***impossibilité de***

mettre une quantité irrationnelle sous la forme ordinaire des fractions se manifestera dans le calcul, en ce que la valeur de la quantité se présentera sous la forme de l'infini divisé par l'infini.

§ 4. On se contenta longtemps, en arithmétique, des fractions ordinaires pour représenter les quantités dont on avait besoin ; mais en reconnaissant les avantages que présente le calcul décimal, on voulut tout y assujettir. On imagina les fractions décimales, et l'on chercha à représenter les fractions ordinaires sous cette nouvelle forme. On donna des règles pour cette conversion, mais ces règles devaient de toute nécessité être en défaut dans certains cas, puisqu'on limitait les nombres qui pouvaient être employés comme dénominateurs.

En effet, pour exprimer les quantités par les fractions ordinaires, on est maître du dénominateur, c'est-à-dire qu'on peut diviser l'unité en autant de parties égales que l'on veut ; dans le système décimal, on limite cette liberté, et il n'est plus possible de prendre pour dénominateur un autre nombre qu'une puissance de 10. Or, sera-t-il toujours possible, en divisant l'unité en 10, 10^2, 10^3... parties, que la quantité qu'on veut représenter contienne un nombre exact de ces parties ? Il était facile de pressentir que non, et de prévoir que des quantités qui étaient rationnelles, dans la représentation par les fractions ordinaires, allaient se présenter sous forme irrationnelle dans le nouveau système. Mais, malgré cette impossibilité, on a voulu le faire ; on avait établi la règle pour le cas où la conversion d'une fraction ordinaire en fraction décimale pouvait s'effectuer, et cette règle on l'a forcée, on a voulu qu'elle fût applicable à tous les cas, on a voulu l'impossible. Qu'en devait-il résulter ? C'est que cette impossibilité devait se manifester d'une manière quelconque, et que la forme du résultat devait l'exprimer. En conséquence, il en est ressorti une idée nouvelle, l'idée de l'infini ; le nombre des chiffres décimaux s'est trouvé illimité, ou, en d'autres termes, la fraction décimale a été donnée par le quotient de deux quantités infinies.

Qu'on prenne, par exemple, $\frac{1}{3}$ qui est une quantité rationnelle exprimée par les fractions ordinaires ; si l'on veut exprimer cette même grandeur par les fractions décimales, on trouvera

$$0,3333.....$$

ou, ce qui est la même chose, le rapport des deux quantités infinies

$$\frac{3333.....}{10000}$$

Si, d'ailleurs, on remarque que l'on a

$$0,3333... = \frac{3}{10} + \frac{3}{10^2} + \frac{3}{10^3} + ...$$

l'impossibilité d'exprimer $\frac{1}{3}$ en fraction décimale se manifeste par le fait que la conversion donne lieu à une série, dont le nombre des termes est infini.

§ 5. Toutefois il ne faut pas croire que, si l'on n'eût pas imaginé les fractions décimales, les séries d'un nombre infini de termes ne se fussent pas manifestées au moyen des fractions ordinaires.

Les fractions ordinaires peuvent bien exprimer, sous forme finie, des quantités pour la représentation desquelles les fractions décimales demandent l'emploi du rapport de deux quantités infinies ou des séries infinies, mais les fractions ordinaires elles-mêmes sont loin de pouvoir représenter toutes les nuances de la quantité.

Si nous désignons par a une quantité irrationnelle par rapport au mode de représentation par les fractions ordinaires, et si néanmoins nous voulons exprimer cette quantité à l'aide de ces fractions, nous allons voir naître une série infinie ou le rapport de deux quantités infinies. Puisque la quantité a ne peut pas être exprimée au moyen d'une fraction ordinaire, prenons-en deux; mais, que nous combinions ces deux fractions par voie d'addition, de soustraction, de multiplication ou de division, nous pourrons toujours, par les règles connues sur les fractions, les réduire à une seule; ainsi comme une seule fraction ne peut pas exprimer la quantité proposée, deux fractions ne le peuvent pas davantage. Que nous prenions trois, quatre, mille, un million de fractions, nous pourrons toujours réduire ces fractions à une seule, et par suite il sera impossible, aussi longtemps qu'on voudra se contenter d'un nombre limité de fractions, de jamais exprimer exactement la quantité irrationnelle proposée. Mais si nous prenons un nombre infini de fractions, nous ne pourrons plus les réduire à une seule, et par suite il ne sera plus impossible d'exprimer la quantité au moyen des fractions ordinaires. Ce n'est donc que sous cette condition de prendre un nombre illimité de fractions ou une série infinie, que nous pourrons arriver à notre but. Nous

voyons ainsi que lorsque nous voulons exprimer une quantité sous une forme qui ne lui convient pas, cette impossibilité se manifeste sous deux formes différentes, qui, au fond, sont équivalentes : la valeur de la quantité est donnée tantôt par le rapport de deux quantités infinies, tantôt par une série, dont le nombre des termes est infini. *L'idée de l'infini naît donc, dans l'un comme dans l'autre cas, de ce que l'on veut représenter sous certaines formes particulières des quantités qui, par leur nature, ne peuvent pas l'être.*

§ 6. Si l'on divise a par a-x on trouve

$$\frac{a}{a-x} = 1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} + \frac{x^3}{a^3} + \dots \qquad (1)$$

dont le second membre est une série d'un nombre infini de termes.

La considération de cette expression pourrait paraître une objection à ce que nous venons de dire, car le premier membre est une fraction ordinaire lorsque x est plus grand ou plus petit que a, et le second membre une somme de fractions ordinaires.

Quelle est donc la cause qui, dans cette circonstance, donne naissance à une série dont le nombre des termes est infini ?

Ici, comme dans tous les autres cas, on exécute une opération qui est impossible, car on veut que l'expression $\frac{a}{a-x}$ soit égale à une somme de termes d'une forme fixe et déterminée, à savoir à la somme des différentes puissances de $\frac{a}{x}$; en d'autres termes, on prétend qu'en réduisant les fractions au même dénominateur, $\frac{a}{a-x}$ puisse être égal à une fraction $\frac{p}{a^m}$. Nous nous trouvons dans un cas parfaitement analogue à celui où l'on voudrait exprimer une fraction ordinaire au moyen d'une fraction décimale.

Ainsi donc, *l'infini dans le nombre des termes d'une série, peut naître de ce qu'on a déterminé la forme des termes, par lesquels on veut représenter la quantité proposée.*

Il résulte de cette remarque que

Toute quantité peut être représentée par des expressions, dans lesquelles entre un nombre infini de termes, et cela d'une multitude de manières différentes, en variant la forme des termes par lesquels on désire l'exprimer.

§ 7. L'impossibilité d'exécuter une opération, qui se manifeste par l'apparition d'une série d'un nombre infini de termes, ou par le rapport de deux quantités infinies, se révèle souvent aussi par des formes un peu différentes; mais, au fond, ces nouvelles formes qui contiennent toujours la notion d'infini, sont équivalentes aux premières.

Supposons, par exemple, qu'on se propose d'exprimer un nombre entier par le produit de plusieurs fractions, de telle sorte que le produit des nominateurs soit premier avec celui des dénominateurs.

Evidemment cette décomposition est impossible, et si nous voulons tenter de l'effectuer, nous verrons naître un nombre infini de facteurs pour représenter la quantité proposée.

Par exemple, si l'on remarque que l'on a identiquement :

$$\frac{a}{a-x} = \frac{a+x}{a} \cdot \frac{a^2}{a^2-x^2}$$

en faisant dans cette relation $a = a^2$ et $x = x^2$, on obtiendra

$$\frac{a^2}{a^2-x^2} = \frac{a^2+x^2}{a^2} \cdot \frac{a^4}{a^4-x^4}$$

on déduira de même de cette formule :

$$\frac{a^4}{a^4-x^4} = \frac{a^4+x^4}{a^4} \cdot \frac{a^8}{a^8-x^8}$$

et ainsi de suite.

On aura donc identiquement :

$$\frac{a}{a-x} = \frac{a+x}{a} \cdot \frac{a^2+x^2}{a^2} \cdot \frac{a^4+x^4}{a^4} \cdots$$

relation qui nous montre que lorsqu'on voudra exprimer $\frac{a}{a-x}$ par le produit de facteurs de la forme $\frac{a^{2^p}+x^{2^p}}{a^{2^p}}$ on ne le pourra pas. Si, néanmoins, on veut l'effectuer, le calcul indiquera cette impossibilité en donnant pour la valeur de la quantité un produit, dont le nombre des facteurs sera infini.

Du reste, l'impossibilité de mettre la valeur $\frac{a}{a-x}$ sous la forme d'une somme de fractions, dont les dénominateurs sont les différentes puissances de a, ou sous la forme du produit d'un certain nombre de facteurs de la forme $\frac{a^{2^p}+x^{2^p}}{a^{2^p}}$ aurait pu se manifester par l'apparition du rapport de deux quantités infinies.

En effet, si l'on remarque qu'en désignant par p un nombre entier quelconque, on a :

$$\frac{a^p - x^p}{a^{p-1}(a-x)} = 1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} + \cdots + \frac{x^{p-1}}{a^{p-1}}$$

en supposant p égal à l'infini on en déduira :

$$\frac{a}{a-x} = 1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} + \ldots = \frac{\left[a^p - x^p\right]^{p=\infty}}{(a-x)\left[a^{p-1}\right]^{p=\infty}}$$

On peut de même faire observer que l'on a :

$$\frac{a}{a-x} = \frac{a+x}{a} \cdot \frac{a^2+x^2}{a^2} \cdot \frac{a^4+x^4}{a^4} \ldots = \frac{\left[(a+x)\,(a^2+x^2)\,(a^4+x^4) \,..\, (a^{2^p}+x^{2^p})\right]^{p=\infty}}{\left[a^{2^{p+1}-1}\right]^{p=\infty}}$$

En résumé, nous pouvons dire que :

Toutes les fois qu'on voudra représenter une quantité sous une forme déterminée qu'elle ne peut pas affecter, cette impossibilité se manifestera dans le calcul par le fait qu'on trouvera, pour représenter cette quantité, une expression composée, soit d'un nombre infini d'addendes ou de facteurs, soit le rapport de deux quantités infinies, soit encore des formes équivalentes, dans lesquelles apparaîtra constamment la notion de l'infini.

Réciproquement :

Si la notion de l'infini entre dans l'expression d'une quantité, c'est une preuve que la quantité a été mise sous une forme qui ne lui convient pas.

§ 8. Si l'on désigne par n un nombre aussi grand que l'on veut, sans cependant être infini, la fraction $\frac{1}{n}$ sera une quantité d'autant plus petite que n sera plus grand, et il est facile de voir qu'en répétant cette quantité un nombre de fois exprimé par an, le résultat sera égal à a, ce dernier nombre pouvant être aussi grand que l'on veut. Il résulte de cette observation, qu'en répétant une fraction aussi petite que l'on veut, un nombre infini de fois, le résultat sera plus grand que toute grandeur assignable.

Cela posé, nous pouvons remarquer, que l'introduction de cette idée de l'infini dans le nombre des termes d'une série, dont la somme est une quantité fixe, présente tout-à-coup à l'esprit quelque chose de paradoxal. On ne comprend pas comment une somme de quantités, qui peuvent être toutes positives et en nombre infini, peut

ne donner pour somme qu'une quantité finie d'une valeur souvent bien faible; comment, par exemple, la somme des quantités

$$1+\frac{x}{a}+\frac{x^2}{a^2}+\cdots$$

prolongées jusqu'à l'infini, est égale à $\frac{a}{a-x}$ comme cela résulte de la division de a par a-x.

Nous pourrons facilement nous rendre compte de cette circonstance, si nous faisons observer qu'une quantité finie peut, quelle que soit sa grandeur, être formée par l'addition d'une fraction de cette quantité, plus du reste qu'on obtient, en retranchant de cette quantité cette même fraction; en d'autres termes, si nous remarquons qu'on a identiquement

$$a=\varphi a+(1-\varphi)\,a$$

a désignant une quantité finie, et φ une fraction plus petite que l'unité.

Si l'on pose, pour abréger,

$$(1-\varphi)\,a=a'$$

a' sera une quantité finie plus petite que a, et nous pourrons faire sur a' le même raisonnement que sur a.

Si donc nous désignons par φ, φ', φ'', φ''',... une suite de fractions, nous aurons

$$(1-\varphi)\,a=a'=\varphi'\,a'+(1-\varphi')\,a'$$
$$(1-\varphi')\,a'=a''=\varphi''\,a''+(1-\varphi'')\,a''$$
$$(1-\varphi'')\,a''=a'''=\varphi'''\,a'''+(1-\varphi''')\,a'''$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

Si l'on admet que la série des fractions φ, φ', φ'', φ''',... sont toutes plus petites que l'unité, aucun des restes a', a'', a''',... ne sera nul, et par suite la valeur de a sera donnée par une suite infinie de termes qu'on peut écrire :

$$a=\varphi a+(1-\varphi)\,\varphi'\,a+(1-\varphi)\,(1-\varphi')\,\varphi''\,a+(1-\varphi)\,(1-\varphi')\,(1-\varphi'')\,\varphi'''\,a+\cdots \quad (a)$$

Comme chaque terme représente une partie de la quantité a, on s'approchera de plus en plus de cette valeur, à mesure que l'on prendra un plus grand nombre de termes, sans cependant jamais l'atteindre, et il faut concevoir que la série est prolongée à l'infini, pour avoir réellement la valeur du premier membre.

Si l'une des fractions de la suite φ, φ', φ'', φ''',... était égale à l'unité, par exemple $\varphi^{(n)}$, cela signifierait que l'on prend le reste en entier; par suite, la valeur de $a^{(n+1)}$ serait

nulle, et la série n'aurait plus un nombre infini de termes. Si donc on prend un nombre n de termes, la somme de tous les termes que l'on néglige peut toujours s'estimer exactement, et sera donnée par l'expression

$$e = (1 - \varphi)(1 - \varphi')(1 - \varphi'')\ldots(1 - \varphi^{(n-1)})\, a$$

Il est facile de voir qu'en prenant n suffisamment grand, c'est-à-dire, en prenant un nombre suffisant de termes dans la série, l'erreur qu'on commettra pourra être rendue plus petite que toute quantité donnée.

On voit ainsi que si une série infinie ne donne pour somme qu'une quantité finie, cela tient à ce que, si l'on prend un nombre suffisant de termes, rien ne limite la petitesse de la somme des termes que l'on néglige, circonstance que ne présente pas une somme infinie de quantités égales, bien que ces quantités puissent être considérées comme aussi petites que l'on veut, sans cependant être rigoureusement nulles.

§ 9. Suivant la loi qu'on adoptera pour la formation des différentes fractions φ, φ', φ'', φ''',... on obtiendra des suites différentes pour représenter la valeur de a.

1° Si l'on suppose toutes ces fractions égales entr'elles et égales à $\frac{1}{n}$ nous aurons pour leur substitution dans l'égalité (a)

$$1 = \frac{1}{n} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{n} + \left(\frac{n-1}{n}\right)^2 \frac{1}{n} + \left(\frac{n-1}{n}\right)^3 \frac{1}{n} + \ldots$$

et faisant $n = \frac{a}{a-x}$ nous pourrons écrire

$$\frac{a}{a-x} = 1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} + \frac{x^3}{a^3} + \cdots$$

2° Si nous faisons

$$\varphi = \frac{n}{n+a}, \quad \varphi' = \frac{n+a}{n+2a}, \quad \varphi'' = \frac{n+2a}{n+3a}, \ldots$$

il en résultera

$$1 - \varphi = \frac{a}{n+a}, \quad 1 - \varphi' = \frac{a}{n+2a}, \quad 1 - \varphi'' = \frac{a}{n+3a}, \ldots$$

et par suite l'égalité (a) nous donnera :

$$\frac{a}{n+a} = \frac{a}{n+2a} + \frac{1}{n+a} \cdot \frac{a^2}{n+3a} + \frac{1}{(n+a)(n+2a)} \cdot \frac{a^3}{n+4a} + \cdots \qquad (1)$$

3° Si nous posons

$$\varphi = \frac{1}{n}, \quad \varphi' = \frac{1}{n+a}, \quad \varphi'' \frac{1}{n+2a}, \ldots$$

nous trouverons

$$1 - \varphi = \frac{n-1}{n}, \; 1 - \varphi' = \frac{n+a-1}{n+a}, \; 1 - \varphi'' = \frac{n+2a-1}{n+2a}, \ldots$$

et par suite l'égalité (a) pourra s'écrire :

$$1 = \frac{1}{n+a} + \frac{n+a-1}{n+a} \cdot \frac{1}{n+2a} + \frac{n+a-1}{n+a} \cdot \frac{n+2a-1}{n+2a} \cdot \frac{1}{n+3a} + \ldots \quad (2)$$

multipliant cette identité par $n + a$ et divisant par $n + a - 1$, on trouve :

$$1 = \frac{1}{n+2a} + \frac{n+2a-1}{n+2a} \cdot \frac{1}{n+3a} + \frac{n+2a-1}{n+2a} \cdot \frac{n+3a-1}{n+3a} \cdot \frac{1}{n+4a} + \ldots$$

multipliant de nouveau cette identité par $n + 2a$ et divisée par $n + 2a - 1$, on a :

$$1 = \frac{1}{n+3a} + \frac{n+3a-1}{n+3a} \cdot \frac{1}{n+4a} + \frac{n+3a-1}{n+3a} \cdot \frac{n+4a-1}{n+4a} \cdot \frac{1}{n+5a} + \ldots$$

et en continuant ainsi, on trouvera généralement :

$$1 = \frac{1}{n+ka} + \frac{n+ka-1}{n+ka} \cdot \frac{1}{n+(k+1)a} + \frac{n+ka-1}{n+ka} \cdot \frac{n+(k+1)a-1}{n+(k+1)a} \cdot \frac{1}{n+(k+2)a} + \ldots \quad (3)$$

mais en faisant dans la formule (2) $a = ka$, on obtient :

$$1 = \frac{1}{n+ka} + \frac{n+ka-1}{n+ka} \cdot \frac{1}{n+2ka} + \frac{n+ka-1}{n+ka} \cdot \frac{n+2ka-1}{n+2ka} \cdot \frac{1}{n+3ka} + \ldots \quad (4)$$

§ 10. On appelle *limite d'une série infinie* la quantité vers laquelle la série tend, à mesure que l'on prend un plus grand nombre de termes, sans qu'elle puisse jamais l'atteindre, quel que soit le nombre des termes qu'on envisage. C'est ainsi que $\frac{a}{a-x}$ est la limite de la série infinie

$$1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} + \frac{x^3}{a^3} + \ldots$$

Bien qu'une expression puisse être développée en série d'une multitude de manières différentes, et que ces développements permettent de résoudre un grand nombre de questions, il ne faut pas croire cependant, que toutes les espèces de séries puissent être admises dans le calcul, et qu'elles présentent toutes les mêmes avantages. Les formules mathématiques ne sont que la traduction d'idées dans une langue admirable, dont l'algorithme peut souvent être d'un grand secours au calculateur, mais les formules ne doivent qu'aider, et non conduire aveuglement, celui qui s'en sert. L'idée

de l'infini, introduite dans les séries, n'a pas toujours suffisamment préoccupé ceux qui ont fait usage de ce nouveau genre de formules. Souvent, en laissant cette idée de côté, on a appliqué aux séries infinies les mêmes propriétés qu'on avait reconnues être vraies pour les formules ordinaires, et il en est résulté de véritables erreurs dans les résultats qu'on a obtenus.

Pour faciliter l'exposition de ce que nous avons à dire sur cette matière, nous prendrons la formule précédente ; nous prévenons seulement le lecteur que les considérations, dans lesquelles nous allons entrer, sont applicables à tous les cas.

Considérons la série infinie

$$S = 1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} + \cdots$$

dont la limite est $\frac{a}{a-x}$.

Si nous donnons à a une valeur quelconque plus grande que x, et si nous calculons la valeur de la série en nous arrêtant à un terme de rang n, nous trouverons pour la somme une certaine valeur $S_n < \frac{a}{a-x}$ qui différera de S aussi peu qu'on le voudra en prenant n suffisamment grand (Voyez § 9).

Qu'on nous demande maintenant la valeur de la série à une fraction près marquée par $\frac{1}{m}$; il suffira, pour avoir la valeur de la série, au degré d'approximation demandé, de tenir compte d'un nombre de termes d'autant plus considérable que nous attribuerons à $\frac{a}{x}$ une valeur plus petite se rapprochant de l'unité ; de sorte que, lorsqu'on supposerait $a = x$, il faudrait prendre un nombre infini ou tous les termes de la série pour en avoir la valeur au degré d'approximation demandé, quel que fût ce degré ; seulement, pour une approximation plus ou moins grande, il faudrait plus ou moins de termes pour une même valeur de a.

Mais si, continuant de prendre pour a des valeurs de plus en plus petites, nous faisons $a < x$, qu'en résultera-t-il ? — Puisque, pour $a = x$, le nombre de termes qu'il faut prendre pour avoir la valeur de $S = \frac{a}{a-x}$, est un nombre infini de termes ; pour une valeur $a < x$, il faudra prendre un nombre de termes supérieurs à l'infini, afin de retrouver cette même valeur $\frac{a}{a-x}$, qui représente la somme de tous les termes de

la série. Or, prendre un nombre de termes supérieurs à l'infini ne saurait avoir un autre sens que le suivant : c'est que la série prolongée simplement jusqu'à l'infini ne saurait plus avoir $\frac{a}{a-x}$ pour somme, et qu'en conséquence l'égalité

$$\frac{a}{a-x} = 1 + \frac{a}{x} + \frac{a^2}{x^2} + \cdots$$

cesse d'être vraie lorsqu'on donne à a une valeur inférieure à x.

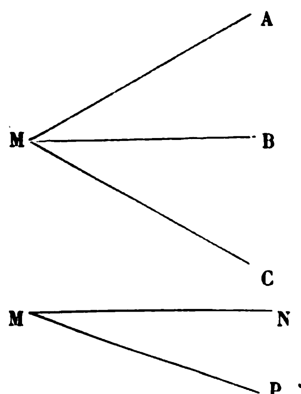
Le plus souvent les séries sont employées pour représenter des quantités dont elles font connaître la valeur avec approximation, et cette approximation s'obtient en prenant dans la série un certain nombre de termes consécutifs à partir du premier. Alors le reste de la série, c'est-à-dire, l'ensemble des termes que l'on néglige, exprime l'*erreur*, et, pour qu'une série atteigne le but qu'on se propose, il faut qu'en prenant un nombre de termes suffisant, cette erreur puisse être rendue aussi petite qu'on le voudra. Les séries qui remplissent cette condition portent le nom de *séries convergentes*.

Il résulte de cette définition que, si une série est convergente, il existe une limite fixe et déterminée, de laquelle on s'approche d'autant plus qu'on prend un nombre de termes plus considérable et qu'on ne pourra atteindre qu'en supposant ce nombre égal à l'infini; cette limite est la *valeur* ou *la somme de la série*.

Si une série ne satisfait pas à la condition que nous venons d'énoncer, on lui donne le nom de *série divergente*.

Des détails, dans lesquels nous venons d'entrer, on peut conclure que les séries divergentes ne peuvent dans aucun cas être employées dans le calcul; elles doivent en être rejetées comme ne présentant aucune valeur fixe, de sorte que tout calcul fondé sur l'emploi de pareilles séries doit être considéré comme inexact, quand bien même ces séries se trouveraient éliminées du résultat final; leur présence seule a entaché le calcul, car rien ne saurait être regardé comme démontré, lorsqu'on a employé, pour arriver au but, des expressions qui sont fausses, des égalités que l'on sait ne pouvoir subsister.

§ 11. Pour nous rendre compte de la manière dont on doit chercher à évaluer les quantités infinies, proposons-nous de trouver le rapport des surfaces AMB et BMC comprises entre les droites infinies MA et MB, MB et MC.



Au premier abord, ce rapport semble bien facile à établir, car si l'on désigne par k la surface infinie NMP, qui répond à une unité d'angle qui entre m fois dans AMB et n fois dans BMC, on aura :

$$\frac{\text{angle AMB}}{\text{angle BMC}} = \frac{m}{n}$$

de plus, comme

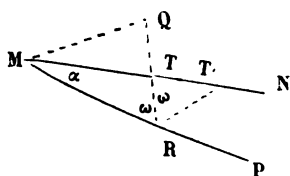
$$\text{Surface AMB} = mk$$
$$\text{Surface BMC} = nk$$

on aura:

$$\frac{\text{Surface AMB}}{\text{Surface BMC}} = \frac{mk}{nk} = \frac{m}{n} = \frac{\text{angle AMB}}{\text{angle BMC}}$$

La même relation existerait dans le cas où les deux angles AMB et BMC seraient incommensurables, en supposant k suffisamment petit.

Ce résultat, qu'on serait tenté de regarder comme parfaitement rigoureux, ne l'est cependant pas; il repose sur la considération que l'espace infini compris dans un angle $k =$ NMP, est une quantité toujours la même quel que soit le mode employé pour la déterminer. Or, il est facile de reconnaître qu'il n'en est généralement pas ainsi, et qu'au contraire, cette quantité infinie peut prendre une multitude de valeurs dépendantes de la manière dont on conçoit qu'elle peut être engendrée.



Représentons l'angle NMP par α et prenons sur MP une distance MR égale à x; par le point R menons une droite quelconque RT qui fasse avec RM un angle fixe ω, abaissons MQ perpendiculaire sur RT et déterminons la valeur de la surface du triangle MTR; on a pour cela

$$\text{RT} : x = \sin\alpha : \sin(\alpha + \omega)$$
$$\text{MQ} = x \sin\omega$$

et par suite la valeur du triangle MTR $= \dfrac{x^2 \sin\alpha \sin\omega}{2 \sin(\alpha + \omega)}$

En admettant que dans cette expression on fasse x infini, la surface du triangle représentera la surface de l'espace infini, compris dans l'angle NMP.

En désignant par S cette surface, on aura :

$$S = \left[\frac{x^2 \sin \alpha \sin \omega}{2 \sin (\alpha + \omega)}\right] x = \infty$$

Si, par le point R nous menons une droite RT' faisant avec la droite MR l'angle ω' on aura, pour représenter cette même surface,

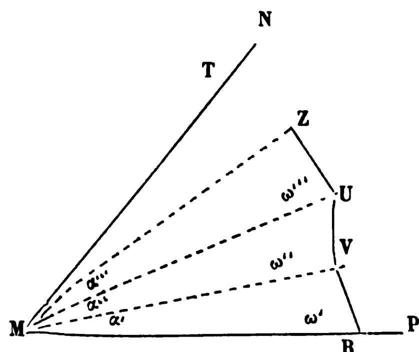
$$S' = \left[\frac{x^2 \sin \alpha \sin \omega'}{2 \sin (\alpha + \omega')}\right] x = \infty$$

En comparant ces deux valeurs, on trouve :

$$\frac{S}{S'} = \frac{\sin \omega \sin (\alpha + \omega')}{\sin \omega' \sin (\alpha + \omega)}$$

rapport qui nous montre que les valeurs infinies S et S', qui représentent l'espace NMP, dépendent de la manière dont cet espace est engendré, puisque l'on peut faire varier ce rapport en donnant à ω et ω' toutes les valeurs que l'on veut, comprises entre 0 et ω' en conservant toujours à l'angle α son identité.

Au lieu du mode de génération que nous avons envisagé, on pourrait imaginer tout autre mode; on pourrait, par exemple, concevoir la surface engendrée par une portion de polygone RVUZ...T, dont les côtés grandiraient en restant parallèles à eux-mêmes à mesure que MR ou x prendrait des valeurs de plus en plus grandes; on obtiendrait ainsi pour la surface infinie autant de valeurs différentes que l'on imaginerait de polygones différents.



En désignant par $\alpha', \alpha'', \alpha''',\ldots$ les angles RMV, VMU, UMZ,.. et par $\omega', \omega'', \omega''',\ldots$ les angles MRV, MVU, MUZ,... la surface engendrée sera représentée par

$$S'' = \left[\frac{x^2 \sin \alpha' \sin \omega'}{2 \sin (\alpha' + \omega')} + \frac{y^2 \sin \alpha'' \sin \omega''}{2 \sin (\alpha'' + \omega'')} + \frac{z^2 \sin \alpha''' \sin \omega'''}{2 \sin (\alpha''' + \omega''')} + \cdots\right]^{x=\infty}$$

les valeurs de $y, z,\ldots$ qui représentent les longueurs des lignes MV, MU, etc., étant données par les relations

$$y = \frac{x \sin \omega'}{\sin (\alpha' + \omega')}$$

$$z = \frac{y \sin \omega''}{\sin (\alpha'' + \omega'')}$$

. . . .

. . . .

Il résulte de ces considérations qu'*une quantité infinie considérée en elle-même* (sans faire connaître sa génération) *est une quantité indéterminée, dont la valeur dépendra, dans chaque cas donné, de la génératrice que l'on regardera comme devant la produire en acquérant des valeurs de plus en plus considérables.* Chaque génératrice qu'on adoptera imprimera à la valeur infinie un caractère particulier, dont il sera impossible de la rendre indépendante; par suite, on serait dans une grave erreur si l'on égalait les résultats obtenus par différents modes de génération, en regardant ces résultats comme des représentations différentes de la même quantité.

§ 12. Il est ici un point sur lequel nous devons tout particulièrement attirer l'attention ; c'est que, si, parmi toutes les génératrices que l'on peut concevoir capables de donner la valeur d'une quantité infinie proposée, il en est une qui permette d'assigner à la valeur infinie une valeur indépendante de toute indéterminée, nous la désignerons par le nom de *génératrice principale*, et la valeur infinie qui lui correspond prendra la dénomination de *valeur principale*.

C'est ainsi que dans l'exemple que nous avons choisi, si l'on suppose l'angle α aussi petit que l'on veut, les différentes valeurs de la surface infinie comprise dans le même angle α deviennent égales et indépendantes de toute indéterminée, quel que soit le mode de génération que l'on considère. En effet, la valeur de S' donnée par la formule

$$S' = \left[\frac{x^2 \sin \alpha \sin \omega}{2 \sin (\alpha + \omega)}\right]^{x=\infty}$$

qui varie avec la valeur ω, devient indépendante de cet angle, si α est suffisamment petit, car on a alors $\sin \alpha = \alpha$, et $\sin (\alpha + \omega) = \sin \omega$, ce qui donne

$$S' = \left[\frac{\alpha x^2}{2}\right]^{x=\infty}$$

De même la valeur générale S'' se réduit à cette même quantité en supposant α aussi petit que l'on veut.

En effet, de ce que

$$\alpha = \alpha' + \alpha'' + \alpha''' + \ldots$$

on doit pouvoir supposer α', α'', α''',... aussi petits que l'on désire, et par suite

$$y = x,\ z = x, \text{ etc., etc.}$$

d'où il résulte

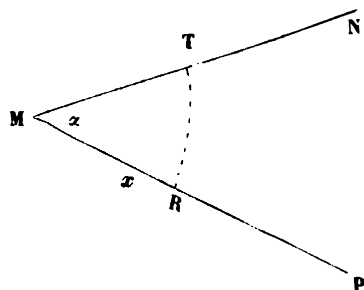
$$S'' = \left[\frac{x^2}{2}(\alpha' + \alpha'' + \alpha''' + \ldots)\right]^{x=\infty} = \left[\frac{\alpha x^2}{2}\right]^{x=\infty}$$

On arrivera à ce même résultat quel que soit le mode de génération que l'on considère.

Ce caractère commun que possèdent les expressions qui représentent la valeur infinie comprise entre les deux côtés d'un angle α, conduit à rechercher quelle devrait être la forme de génération, pour qu'on ait toujours, quelle que soit la valeur de l'angle α, pour expression de la surface

$$S = \left[\frac{\alpha x^2}{2}\right]^{x=\infty}$$

Or, il est facile de reconnaître que si l'on considère la surface NMP engendrée par un arc de cercle RT croissant avec le rayon MR $= x$ la surface sera représentée par $\frac{\alpha x^2}{2}$ en effet on a :



$$2\pi : \alpha = 2\pi x : \text{RT}.$$

$$S = \frac{RT.x}{2}$$

et par conséquent la relation

$$S = \left[\frac{\alpha x^2}{2}\right]^{x=\infty}$$

pour la valeur de la surface infinie.

Cette valeur de S, qui ne contient plus aucune quantité qui puisse la rendre indéterminée, est la *valeur principale* de la quantité infinie considérée, et $\frac{\alpha x^2}{2}$ en est la *génératrice principale*.

Il nous sera maintenant facile de nous rendre compte comment il est arrivé qu'on a pu dire, et en quelque sorte démontrer, que les surfaces comprises dans les angles

AMB et BMC étaient entr'elles dans le même rapport que ces angles; en effet, on est parti de l'idée que ces surfaces avaient une valeur fixe qu'il s'agissait de comparer. Or, admettre que ces surfaces ont une valeur fixe, c'est admettre implicitement qu'on ne veut établir de rapport qu'entre les valeurs principales qui les représentent; mais les valeurs principales se trouvant, par le mode de génération qui leur correspond, proportionnelles aux angles, les surfaces devaient se trouver dans le rapport même de ces angles. On reconnaîtra par là que, pour énoncer complètement la proposition qu'on a en vue, on devrait dire : *Les espaces infinis compris entre les côtés de deux angles, sont entr'eux comme les angles qui leur correspondent, lorsque les valeurs de ces espaces infinis sont réduits à leur valeur principale.*

§ 13. Les quantités infinies, considérées en elles-mêmes, étant indéterminées, les rapports de pareilles quantités sont nécessairement variables, et ne peuvent conduire qu'à des résultats arbitraires.

Cependant, si l'on convient de regarder les quantités infinies comme ayant des valeurs fixes, ou, en d'autres termes, de n'employer comme génératrices que celles qui conduisent à leurs valeurs principales, on parviendra toujours à des rapports constants, qui pourront être d'un grand secours dans l'analyse.

Si la génératrice d'une quantité infinie est connu *à priori*, et qu'il n'entre dans cette génératrice que des quantités constantes $a, b, c, \ldots$ et des quantités variables x, $y, z, \ldots$ qui se rapprochent simultanément de limites fixes $x_{,}, y_{,}, z_{,}, \ldots$ l'expression donnée

$$\Big[\varphi(a, b, c, \ldots x, y, z)\Big]_{\substack{x=x_{,}\\ y=y_{,}\\ z=z_{,}\\ \cdots}}$$

sera la génératrice principale de la quantité infinie, puisqu'il n'entre dans l'expression aucune quantité arbitraire qui puisse rendre la valeur infinie indéterminée.

Si la génératrice d'une quantité infinie n'est pas connue, on pourra former arbitrairement une génératrice qui sera donnée par une fonction

$$\Big[\varphi(a, b, z, \ldots x, y, z \ldots \omega, \omega', \ldots)\Big]_{\substack{x=x_{,}\\ y=y_{,}\\ z=z_{,}\\ \cdots}}$$

dans laquelle $\omega, \omega', \ldots$ sont des quantités arbitraires.

Puis on passera de cette génératrice à la génératrice principale, en déterminant

ce que doivent être les constantes a, b, c,... pour que les quantités arbitraires ω, ω',.. disparaissent d'elles-mêmes. Ces valeurs une fois obtenues, on réduira la génératrice arbitraire, qui deviendra ainsi génératrice principale.

Soit proposé de déterminer la génératrice principale de la quantité infinie donnée par la génératrice arbitraire :

$$\left[\frac{x^2 \sin \alpha \sin \omega}{2 \sin (\alpha + \omega)}\right]^{x=\infty}$$

Nous reconnaîtrons immédiatement que, pour que ω disparaisse, il faut supposer α infiniment petit, et par conséquent en faisant cette supposition, on a·

$$\sin (\alpha + \omega) = \sin \omega \sin \alpha = \alpha$$

ce qui permet d'écrire pour génératrice principale

$$\left[\frac{x^2 \alpha}{2}\right]^{x=\infty}$$

dans laquelle on supposera qu'α a une valeur quelconque.

On trouverait de même que la génératrice principale de la quantité infinie donnée par la génératrice arbitraire

$$\left[\frac{b\,\omega}{(x-1) \operatorname{tang} \alpha\,\omega}\right]^{x=1}$$

est donné par l'expression

$$\left[\frac{b}{(x-1)\,\alpha}\right]^{x=1}$$

§ 14. Lorsqu'une quantité infinie est donnée par sa génératrice principale, qui ne contient qu'une seule variable, sa valeur infinie est déterminée ; mais si la quantité infinie est donnée par une génératrice renfermant deux ou un plus grand nombre de variables, on peut facilement reconnaître que cette quantité infinie est encore indéterminée, tant que les variables restent indépendantes les unes des autres.

Concevons, en effet, une quantité infinie donnée par une génératrice

$$\varphi\,(x, y, z, ..)$$

qui acquiert une valeur plus grande que toute quantité donnée, lorsque les valeurs de x, y, z, ... se rapprochent simultanément des valeurs fixes x_1, y_1, z_1, ... ; il est évident qu'en désignant par $\theta\,(x)$, $\xi\,(x)$, ... des fonctions arbitraires de x, telles que l'on ait :

$$y_1 = \theta(x_1)$$
$$z_1 = \xi(x_1)$$
$$\cdots\cdots$$

nous pouvons écrire :

$$\Big[\varphi(x, y, z, \ldots)\Big]^{\substack{x=x_1\\ y=y_1\\ z=z_1\\ \cdots}} = \Big[\varphi(x, \theta(x), \xi(x), \ldots)\Big]^{x=x'}$$

et nous aurons ainsi, comme expression de la quantité infinie, une infinité de valeurs qui dépendront du choix que nous ferons des fonctions arbitraires $\theta(x)$, $\xi(x)$,...

Par exemple, si nous considérons la quantité infinie donnée par l'expression

$$S = \left[\frac{1}{ax-y}\right]^{\substack{x=1\\ y=a}}$$

et si nous supposons entre y et x la relation

$$y = \frac{a}{x^{m-1}}$$

nous aurons pour S la valeur $S' = \left[\dfrac{x^{m-1}}{a(x^m-1)}\right]^{x=1}$

en admettant en second lieu

$$y = \frac{a}{x^{n-1}}$$

nous trouverons par S une valeur $S'' = \left[\dfrac{x^{n-1}}{a(x^n-1)}\right]^{x=1}$

et il est facile de voir que ces valeurs S' et S'' ne sont pas des valeurs infinies identiques, puisque leur rapport

$$\frac{S'}{S''} = \left[\frac{x^n-1}{x^m-1}x^{m-n}\right]^{x=1} = \left[\frac{x^{n-1}+x^{n-2}+\cdots+1}{x^{m-1}+x^{m-2}+\cdots+1}x^{m-n}\right]^{x=1} = \frac{m}{n}$$

n'est pas égal à l'unité.

Nous voyons donc par là que *pour qu'une quantité infinie ait une valeur déterminée, il faut, non seulement que la génératrice soit la génératrice principale, mais encore qu'elle ne contienne qu'une seule variable indépendante.*

§ 15. Soit maintenant proposé de déterminer le rapport de deux quantités infinies données par leurs génératrices principales

$$\left[\varphi(x)\right]^{x=x_i} \left[\Psi(y)\right]^{y=y_i}$$

qui ne renferment respectivement qu'une seule variable indépendante.

On pourra, comme dans le cas précédent, reconnaître que ce rapport a une valeur indéterminée tant que les variables x et y restent indépendantes l'une de l'autre.

En effet, en désignant par $\theta(x)$ une fonction arbitraire de x, telle que l'on ait

$$y_i = \theta(x_i)$$

nous pourrons écrire

$$\frac{[\varphi(x)]^{x=x_i}}{[\Psi(y)]^{y=y_i}} = \left[\frac{\varphi(x)}{\Psi(\theta(x))}\right]^{x=x_i}$$

et nous avons ainsi, pour expression de notre rapport, une infinité de valeurs, qui dépendront de la forme que nous prendrons pour $\theta(x)$.

Si, par exemple, nous voulons déterminer le rapport des deux valeurs infinies

$$\left[\varphi(x)\right]^{x=x_i} = \left[\frac{1}{x^2-a^2}\right]^{x=a}$$

$$\left[\Psi(y)\right]^{y=y_i} = \left[\frac{1}{y^2-a^2}\right]^{y=-a}$$

en établissant la relation

$$y = -\frac{x^m}{a^{m-1}}$$

nous trouverons

$$\frac{[\Psi(x)]^{x=x_i}}{[\Psi(y)]^{y=y_i}} = \left[\frac{a^{2m-2}(x^2-a^2)}{x^{2m}-a^{2m}}\right]^{x=a} = \left[\frac{x^2-1}{x^{2m}-1}\right]^{x=1} = \frac{1}{m}$$

ainsi, à chaque valeur que l'on donnera à m, répondra une valeur différente pour le rapport des quantités infinies.

Il résulte de là que *le rapport de deux quantités infinies doit, pour avoir une valeur fixe, être le rapport de deux fonctions dépendantes d'une seule et même variable qui, pour une valeur particulière de cette variable, prend la forme de l'infini, divisé par l'infini.*

§ 16. Le calcul différentiel fournit généralement le moyen de calculer la valeur de ce rapport, qui ordinairement a une seule valeur fixe qui peut être zéro ou l'infini;

cependant il est des cas où ce rapport peut avoir plusieurs valeurs, il est donc important d'y apporter une attention particulière.

Pour ne donner qu'un exemple, considérons le rapport des deux quantités infinies :

$$\left[x\left(1+e^{\frac{1}{x}}\right)+e^{\frac{1}{x}}\right]^{x=0} \qquad \left[x\left(1+e^{\frac{1}{x}}\right)^2\right]^{x=0}$$

nous trouverons pour ce rapport les deux valeurs 0 et 1 selon qu'en posant $x=y$ et $x=-y$ on suppose que cette quantité positive y se rapproche indéfiniment de 0.

Pour reconnaître ces deux valeurs, il suffit, en supposant y positif, de déterminer les valeurs des rapports

$$\left[\frac{y\left(1+e^{\frac{1}{y}}\right)+e^{\frac{1}{y}}}{y\left(1+e^{\frac{1}{y}}\right)^2}\right]^{y=0}$$

$$\left[\frac{y\left(1+e^{-\frac{1}{y}}\right)-e^{-\frac{1}{y}}}{y\left(1+e^{-\frac{1}{y}}\right)^2}\right]^{y=0}$$

Posons en premier lieu :

$$k=\frac{y\left(1+e^{\frac{1}{y}}\right)-e^{\frac{1}{y}}}{y\left(1+e^{\frac{1}{y}}\right)^2}=\frac{y+\dfrac{e^{\frac{1}{y}}}{1+e^{\frac{1}{y}}}}{y\left(1+e^{\frac{1}{y}}\right)}$$

en faisant $y=0$ et en remarquant que dans cette supposition

$$1+e^{\frac{1}{y}}=e^{\frac{1}{y}}$$

$$\frac{e^{\frac{1}{y}}}{1+e^{\frac{1}{y}}}=1$$

$$y\,e^{\frac{1}{y}}=\infty$$

nous aurons $k=0$.

Posons en second lieu :

$$k'=\frac{y\left(1+e^{-\frac{1}{y}}\right)-e^{-\frac{1}{y}}}{y\left(1+e^{-\frac{1}{y}}\right)^2}$$

en faisant $y = 0$ et en remarquant que :

$$e^{-\frac{1}{\gamma}} = 1$$

nous avons :

$$K' = \frac{y}{y} = 1$$

Si l'on cherche à se rendre compte de la cause qui donne ici naissance à ces deux valeurs particulières, on reconnaîtra aisément que c'est parce que la fonction

$$\frac{x\,(1 + e^{\frac{1}{x}}) + e^{\frac{1}{x}})}{x\,(1 + e^{\frac{1}{x}})^2}$$

est discontinue pour la valeur $x = 0$.

Des séries périodiques.

§ 17. On appelle *séries périodiques*, les séries dans lesquelles, après un certain nombre de termes, on voit les termes se reproduire dans le même ordre et avec la même valeur.

Si l'on désigne par $a, b, c, \ldots\, g$ l'ensemble des termes qui composent une même période, et par K leur somme, de sorte que

$$K = a + b + c + \ldots + g$$

en désignant par S la valeur de la série périodique, nous aurons :

$$S = K + K + K + \ldots = \infty . K$$

le signe ∞ indiquant le nombre infini de fois que la période est répétée.

Si la valeur de K est plus grande ou plus petite que zéro, la valeur de S est évidemment infinie.

Mais si la valeur de K est nulle, la somme S peut être représentée par $\left(\frac{\infty}{\frac{1}{K}}\right)$ ou le rapport de deux quantités infinies, et l'on peut être appelé à rechercher la valeur de ce rapport et à déterminer de cette manière la somme de la série périodique à laquelle il correspond.

Faisons d'abord remarquer que, de la connaissance des différents termes d'une série périodique ou des valeurs de $a, b, c, \ldots\, g$, il est impossible de déduire la valeur de S ; en effet, la valeur de la série étant donnée par le rapport de deux quantités infinies, pour connaître ce rapport il faut connaître la génératrice de chacun de ces deux infinis.

Or, des différents termes $a, b, c, .. g$ de la période, on ne saurait rien conclure de la nature de l'infini du numérateur qui, dans le rapport, indique le nombre de fois que la période est répétée; de plus, l'infini du dénominateur donnée par $\frac{1}{K}$ ne saurait être déterminé par la connaissance des termes de la série.

On peut conclure de là que :

La connaissance seule des différents termes d'une série périodique n'est point suffisante pour en déterminer la valeur; on doit en outre connaître la génératrice du nombre infini qui indique le nombre de fois que la période est répétée, ainsi que la génératrice du nombre infini que l'on obtient, en divisant l'unité par la somme des termes d'une période, afin de pouvoir rechercher le rapport qui existe entre ces deux nombres infinis, rapport qui doit représenter la valeur de la série.

§ 18. Une des séries périodiques des plus simples est la suivante :

$$1 - 1 + 1 - 1 + 1 - ..$$

qui porte le nom de la série de Leibnitz.

Si l'on demandait d'en indiquer la valeur, sans faire connaître de quelle manière on l'a obtenue, on pourrait dire qu'elle est indéterminée; mais si l'on fait connaître comment a été engendré le nombre infini qui indique le nombre de ses périodes, ainsi que celui que l'on trouve en divisant l'unité par la somme des termes d'une période, la série prendra une valeur fixe qu'il est toujours facile de déterminer.

Qu'on dise, par exemple, que le nombre infini qui indique le nombre de ses périodes est représenté par l'expression

$$\left[\frac{1}{1-x^2}\right]^{x=1}$$

ce que celui que l'on trouve, en divisant l'unité par la somme de termes d'une période, est donné par l'expression

$$\left[\frac{1}{1-x}\right]^{x=1}$$

la valeur de la somme S sera donnée par la formule

$$S = \left[\frac{\frac{1}{1-x^2}}{\frac{1}{1-x}}\right]^{x=1}$$

qu'on peut écrire :

$$S = \left[\frac{1-x}{1-x^2}\right]^{x=1} = \left[\frac{1}{1+x}\right]^{x=1} = \frac{1}{2}$$

On trouve ainsi :

$$\frac{1}{2} = 1 - 1 + 1 - 1 + \cdots$$

formule que nous pouvons regarder comme rigoureusement exacte.

Au premier coup d'œil on est tenté de rejeter ce résultat par les raisons suivantes.

Il est impossible, dira-t-on, puisqu'il n'y a que des nombres entiers ajoutés ou retranchés les uns des autres, que leur somme algébrique puisse être égale à une fraction.

De plus, il est aisé de voir que si l'on arrête la série à un terme de rang pair, la somme indiquée par le second membre est nulle, et que, si l'on arrête la série à un terme de rang impair, cette somme est égale à 1 : ainsi, dans aucun cas elle ne saurait être $\frac{1}{2}$.

On peut répondre aisément à ces deux objections.

D'abord, lorsqu'on dit que le second membre de cette série ne saurait être fractionnaire, puisque tous les termes qui la composent sont des nombres entiers, cela même est une erreur, car cette proposition n'est démontrable et ne peut être admise que dans le cas où le nombre des termes est fini. Ici, il entre une idée nouvelle, c'est celle d'un nombre infini de termes; et qui pourra dire, que cette nouvelle notion ne puisse modifier une proposition qui s'applique à un nombre fini de termes?

N'avons-nous pas reconnu, au contraire, que, lorsqu'on exprime une quantité sous une forme qui ne lui convient pas, cette impossibilité le manifeste par l'introduction d'un nombre infini de termes dans l'expression qui représente cette quantité.

Quant à la seconde objection que l'on fait valoir, elle n'en est réellement pas une, car, qui dit nombre infini exclut par cela même l'idée de pair et d'impair, l'infini n'étant ni pair ni impair, ou, si l'on veut, étant tous les deux à la fois; ainsi, cette distinction, en nombre pair et impair, sur laquelle se base toute l'objection, ne peut en aucune manière entrer dans le raisonnement.

§ 19. Nous avons dit que la série

$$1 - 1 + 1 - 1 + \cdots$$

considérée en elle-même sans faire connaître sa génération, avait une valeur indéterminée, c'est ce qu'il est aisé de montrer en adoptant certaines formes dans la manière dont elle peut être produite.

Supposons, en effet, que le nombre infini qui indique le nombre de ses périodes soit représenté par l'expression

$$\left[\frac{1}{1-x^n}\right]^{x=1}$$

et que celui que l'on trouve en divisant l'unité par la somme des termes d'une période soit

$$\left[\frac{1}{1-x^m}\right]^{x=1}$$

sa valeur de la série S sera donnée par la formule

$$S=\left[\frac{\frac{1}{1-x^n}}{\frac{1}{1-x^m}}\right]^{x=1}=\left[\frac{1-x^m}{1-x^n}\right]^{x=1}=\left[\frac{1+x+x^2+\dots x^{m-1}}{1+x+x^2+\dots x^{n-1}}\right]^{x=1}=\frac{m}{n}$$

Nous avons ainsi :

$$\frac{m}{n}=1-1+1-1+\dots$$

Ainsi la série proposée peut être égale à une infinité de valeurs, puisque m et n peuvent être des nombres quelconques.

On pourrait multiplier les formes qui représentent l'infini du nominateur, ainsi que celui du dénominateur, et trouver encore d'autres valeurs à cette même série.

Qu'on suppose que l'infini du nominateur soit donné par l'expression

$$\left[\frac{1}{1-x}\right]^{x=1}$$

et celui du dénominateur par

$$\left[\frac{1}{\cos 2\pi x+\cos\pi x}\right]^{x=1}$$

On aura :

$$S=\left[\frac{\cos 2\pi x+\cos\pi x}{1-x}\right]^{x=1}=0$$

On trouve ainsi :

$$0 = 1 - 1 + 1 - 1 + \cdots$$

Les séries périodiques peuvent être envisagées sous un autre point de vue ; on peut les regarder comme les limites des séries convergentes qui, pour certaines valeurs attribuées aux quantités qu'elles contiennent, ne présentent plus le caractère de convergence, mais prennent la forme d'une suite de termes se présentant dans le même ordre et dont la somme des termes d'une période est égale à 0.

Si on considère la série

$$1 - x + x^2 - x^3 + \cdots$$

qui est convoquente ou divergente, selon que $x < 1$ ou > 1, cette série, lorsqu'on fera $x = 1$, ne présentera plus que le caractère des séries périodiques.

Pour en avoir la valeur, lorsque $x = 1$, on supposera $x < 1$, et l'on trouvera pour la valeur de cette série

$$S = \frac{1}{1+x}$$

En faisant $x = 1$ dans cette expression, on trouvera qu'à sa limite de convergence la série donne

$$\frac{1}{2} = 1 - 1 + 1 - 1 + \cdots$$

valeur qui, comme nous l'avons vu, est parfaitement exacte.

Il résulte des considérations précédentes que, bien que les séries périodiques considérées isolément aient une valeur indéterminée, elles peuvent néanmoins être employées dans le calcul et donner des résultats parfaitement rigoureux, lorsqu'on connaît le mode de génération de ces séries, c'est-à-dire la manière dont a été engendré le nombre infini, qui indique combien de fois la période est répétée, ainsi que la nature du nombre infini que l'on obtient, en divisant l'unité par la somme des termes d'une période, ou, ce qui revient au même, les séries convergentes dont elles sont les limites.

Des intégrales, dont les limites sont infinies.

§ 20. Soit $f(x)$ une fonction continue pour toute la valeur de x, comprise entre

deux limites infinies, dont les génératrices sont $\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}$ $\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}$ et proposons-nous de déterminer la valeur de l'intégrale :

$$\int_{\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}}^{\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}} f(x)\,dx$$

Pour y parvenir, nous rappellerons la formule connue :

$$\int_a^b f(x)\,dx = \xi f(\xi) \log \frac{b}{a}$$

dans laquelle $f(x)$ est une fonction continue pour toute valeur de x, comprise entre a et b et ξ une valeur comprise entre ces deux limites.

En appliquant cette formule à l'intégrale proposée, nous aurons :

$$\int_{\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}}^{\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}} f(x)\,dx = \xi f(\xi) \log \left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0} \qquad (1)$$

$\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$ $\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}$ désignant deux quantités infinies toutes deux positives ou toutes deux négatives, et ξ une quantité infinie de même signe.

Si le rapport $\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$ est différent de l'unité, on peut conclure de cette relation que *la valeur de l'intégrale :*

1° *est nulle, si l'expression $x f(x)$ est nulle pour des valeurs infinies de x;*

2° *est égale à F* log $\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$ *si l'expression $xf(x)$ est égale à F pour des valeurs infinies de x ;*

3° *est infinie, si l'expression $xf(x)$ a une valeur infinie pour des valeurs infinies de x.*

Si le rapport $\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$ est égal à l'unité, la relation (1) nous montre que la valeur

de l'intégrale est nulle, si le produit $xf(x)$ prend, pour des valeurs infinies de x, une valeur nulle ou finie.

Mais dans le cas où pour x, égal à l'infini, la fonction $f(x)$ prend une valeur finie f_∞, la valeur de l'intégrale peut être mise sous la forme

$$f_\infty \left(\varphi_,'(\varepsilon) - \varphi'(\varepsilon) \right)^{\varepsilon=0}$$

$\varphi_,'(\varepsilon)$ et $\varphi'(\varepsilon)$ représentant les co-efficients différentiels de $\varphi_,(\varepsilon)$ et $\varphi(\varepsilon)$.

En effet, comme la valeur de ξ est comprise entre $\left[\frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0} \left[\frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}$ en substituant successivement ces valeurs dans le second membre de l'équation (1), on aura :

$$\left[\frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varepsilon} f\left(\frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varepsilon}\right) \log \frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$$

$$\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon} f\left(\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right) \log \frac{\varphi_,(\varepsilon)}{(\varphi\,\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$$

Qu'on peut écrire ·

$$\left[\frac{1}{\varepsilon} \varphi_,(\varepsilon)\ f_\infty \log \frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$$

$$\left[\frac{1}{\varepsilon} \varphi(\varepsilon)\ f_\infty \log \frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$$

Mais si l'on remarque :

$$\left[\frac{\log \frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0} = \left[\frac{\varphi_,'(\varepsilon)}{\varphi_,(\varepsilon)} - \frac{\varphi'(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$$

On aura, pour les deux valeurs du second membre de l'équation (1), en introduisant la relation $\left[\frac{\varphi_,(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0} = 1$

$$f_\infty\left(\varphi_,'(\varepsilon) - \varphi_,(\varepsilon)\right)^{\varepsilon=0} \qquad f_\infty\left(\varphi_,'(\varepsilon) - \varphi'(\varepsilon)\right)^{\varepsilon=0}$$

comme ces deux valeurs sont identiques et que l'intégrale proposée est comprise entre elles, l'une de ces expressions en représente la valeur.

On trouvera facilement, à l'aide de ce qui précède, les intégrales suivantes :

$$\int_{\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}}^{\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}} \frac{dx}{1+ax} = \frac{1}{a} \log \left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon)}\right]^{\varepsilon=0}$$

$$\int_{\left[\frac{1}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}}^{\left[\frac{m}{m\varepsilon+n\varepsilon^2}\right]^{\varepsilon=0}} \frac{x^p\,dx}{1+ax^p} = -\frac{n}{am}$$

$$\int_{\left[\frac{m+n'\varepsilon}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}}^{\left[\frac{m+n\varepsilon}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}} \frac{dx}{a+be^{\frac{1}{x}}} = \frac{n-n'}{a+b}$$

§ 21. Les considérations précédentes nous fournissent le moyen de reconnaître dans quels cas une intégrale, dont une des limites est infinie, a une valeur fixe, indéterminée ou infinie.

Soit proposé de calculer la valeur de l'intégrale $V=\int^{\infty} f(x)\,dx$, dont la limite supérieure est une quantité infinie dont on ne donne pas la génératrice,

Il est évident qu'en calculant la valeur de l'intégrale $K=\int f(x)\,dx$, prise entre deux limites infinies $\left[\frac{\varphi_1(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}$ et $\left[\frac{\varphi(\varepsilon)}{\varepsilon}\right]^{\varepsilon=0}$ nous pourrons dire que :

1° Si la valeur de K est nulle, celle de V sera indépendante de la nature de l'infini de la limite et par conséquent sera une valeur fixe.

2° Si la valeur de K est différente de zéro et dépendante des génératrices des limites, celle de V sera indéterminée.

3° Si la valeur de K est infinie, il en sera de même de celle de V. C'est ainsi, par exemple, qu'on reconnaît que la valeur de l'intégrale

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{1+ax^2}$$

a une valeur fixe ; tandis que l'intégrale

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{1+ax}$$

est indéterminée.



NOTE

SUR

LA FONCTION $G_m = \frac{1.2.3.\ldots m}{(m+1)(m+2)\ldots 2m}$



Notre but, dans cette note, est d'établir plusieurs relations entre la fonction

$$G_m = \frac{1.2.3.\ldots m}{(m+1)(m+2)\ldots 2m}$$

et certains développements qui nous ont paru assez remarquables.

Bien que, généralement, nous supposions m un nombre entier et positif dans les formules que nous allons considérer, cependant ces mêmes formules subsisteraient encore dans le cas où les séries infinies qu'elles contiennent seraient reconnues convergentes et la fonction G_m transformée en fonction Γ à l'aide de l'égalité

$$G_m = \frac{m\,(\Gamma(m))^2}{2\,\Gamma(2m)}$$

§ 1. Si nous rappelons d'abord la formule suivante, que nous avons donnée dans un mémoire précédent sur le calcul des résidus:

$$\frac{1}{G_m} = 1 + m^2 + \left(\frac{m(m-1)}{1.2}\right)^2 + \left(\frac{m(m-1)(m-2)}{1.2.3}\right)^2 + \cdots \tag{1}$$

nous en déduirons assez facilement

$$\frac{G^2_m}{G_{2m}} = \frac{1.2.3.\ldots 4m}{((m+1)(m+2)\ldots 2m)^2} = 1 + 2\left\{\left(\frac{m}{m+1}\right)^2 + \left(\frac{m(m-1)}{(m+1)(m+2)}\right)^2 + \cdots\right\} \tag{2}$$

formule qui nous montre que si μ est un nombre premier, compris entre $2m$ et $4m$, nous aurons la relation

$$1 + 2\left\{\left(\frac{m}{m+1}\right)^2 + \left(\frac{m(m-1)}{(m+1)(m+2)}\right)^2 + \cdots\right\} \equiv 0 \pmod{\mu}$$

Si, en second lieu, nous combinons la formule (2) avec le théorème de Wilson, nous aurons les deux communes suivantes :

$$1 + (1.2.3\ldots m)^4 \equiv -2 \left\{ \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1.5}{3.7}\right)^2 + \left(\frac{1.5.9}{3.7.11}\right)^2 + \cdots \right\} \text{ (mod. } \mu = 4m+1)$$

$$2^5 + (1.2.3\ldots m)^4 \equiv -2^6 \left\{ \left(\frac{3}{1}\right)^2 + \left(\frac{3.7}{1.5}\right)^2 + \left(\frac{3.7.11}{1.5.9}\right)^2 + \cdots \right\} \text{ (mod. } \mu = 4m+3)$$

§ 2. Si nous posons

$$S_m = 1 + \frac{m-1}{m-1} + \frac{m-1}{m-1}\frac{m-2}{m-2} + \frac{m-1}{m+1}\frac{m-2}{m+2}\frac{m-3}{m+3} + \cdots$$

nous aurons évidemment

$$S_m = G_m \, \Sigma \, \frac{(m-1)(m-2)\ldots(m-s)(m+s+1)\ldots 2m}{1.2.3\ldots.m}$$

le signe Σ s'étendant aux m valeurs de s égales à $m-1$, $m-2$,... 2, 1.

Or, en substituant ces valeurs, on trouve :

$$S_m = G_m \left\{ 2 + 2\frac{2m-1}{1} + 2\frac{2m-1}{1}\frac{2m-2}{2} + \cdots \right\} = 2^{2m-1} G_m$$

Il résulte de là la formule

$$2^{2m-1} G_m = 1 + \frac{m-1}{m+1} + \frac{m-1}{m+1}\frac{m-2}{m+2} + \cdots \tag{3}$$

qu'on transforme facilement dans les suivantes :

$$2^{2m-2} G_m = \frac{m}{m+1} + \frac{m(m-1)(m-2)}{(m+1)(m+2)(m+3)} + \cdots \tag{4}$$

$$2^{2m-2} G_m = \frac{1}{2} + \frac{m(m-1)}{(m+1)(m+2)} + \frac{m(m-1)(m-2)(m-3)}{(m+1)(m+2)(m+3)(m+4)} + \cdots \tag{5}$$

$$2^{2m-1} G_m = \frac{1}{2} + \frac{m}{m+1} + \frac{m(m-1)}{(m+1)(m+2)} + \cdots \tag{6}$$

$$\frac{2^{2m-1} G_m}{m(2m+1)} = \frac{1}{2m(2m+1)} + \frac{1}{(m+1)(m+2)} + \frac{(m-1)(m-2)}{(m+1)(m+2(m+3)(m+4)} + \cdots \tag{7}$$

§ 3. Une suite analogue aux formules précédentes est la suivante :

$$S(a) = 1 - \frac{m-a}{m+a} + \frac{m-a}{m+a}\frac{m-a-1}{m+a+1} - \cdots$$

dont nous allons chercher à déterminer la valeur.

Il est d'abord aisé de voir que l'on a :

$$(1-S(a))\,(m+a) = (m-a)\,S(a+1)$$

par suite, en posant

$$S(a) = Ca + C'$$

l'équation précédente sera satisfaite en donnant aux constantes C et C' les valeurs

$$C = \frac{1}{2m-1} \quad C' = \frac{m-1}{2m-1}$$

Il suit de là que

$$\frac{m-a-1}{2m-1} = 1 - \frac{m-a}{m+a} + \frac{m-a}{m+a}\,\frac{m-a-1}{m+a+1} - \cdots \qquad (8)$$

Cette série présente entre sa valeur $\frac{m-a-1}{2m-1}$ et le nombre m, réciprocité qu'il est facile de reconnaître.

Si l'on désigne par m' la valeur de cette suite infinie, de sorte que

$$m' = \frac{m-a-1}{2m-1} \qquad (a)$$

et si dans la suite nous mettons pour m cette valeur m', nous aurons

$$\frac{m'-a-1}{2m'-1} = 1 - \frac{m'-a}{m'+a} + \frac{m'-a}{m'+a}\,\frac{m'-a-1}{m'+a+1} - \cdots$$

valeur qui est égale à m, en vertu de l'équation (a)

§ 4. Si nous faisons dans l'égalité (8) $a=0$, nous obtiendrons :

$$\frac{m-1}{2m-1} = \frac{m-1}{m+1} - \frac{m-1}{m+1}\,\frac{m-2}{m+2}\,\frac{m-3}{m+3} - \cdots \qquad (9)$$

en combinant les relations (3) et (9) par voie d'addition et de soustraction nous aurons :

$$2^{2m-2}\,G_m - \frac{m}{2\,(2m-1)} = \frac{m-1}{m+1}\,\frac{m-2}{m+2}\,\frac{m-3}{m+3} + \cdots \qquad (10)$$

$$2^{2m-2}\,G_m + \frac{m}{2\,(2m-1)} = 1 + \frac{m-1}{m+1}\,\frac{m-2}{m+2} + \frac{m-1}{m+1}\,\frac{m-2}{m+2}\,\frac{m-3}{m+3}\,\frac{m-4}{m+4} + \cdots \qquad (11)$$

§ 5. Si nous changeons dans la relation (8) a en m et m en a, nous trouverons :

$$\frac{m+a-1}{2a-1} = 1 + \frac{m-a}{m+a} + \frac{m-a}{m+a}\,\frac{m-a+1}{m+a+1} = \cdots$$

et en faisant pour abréger $m - a = h$ et $m + a = g$, nous obtenons la formule donnée par M. Oscar Schlömilch dans son calcul intégral, § 49.

$$\frac{g-1}{g-h-1} = 1 + \frac{h}{g} + \frac{h(h+1)}{g(g+1)} + \frac{h(h+1)(n+1)}{g(g+1)(g+2)} + \cdots \qquad (12)$$

Si l'on remarque que le premier membre de l'égalité (12) peut se mettre sous la forme

$$\frac{h}{1-\frac{h}{g-1}} = 1 + \frac{h}{g-1} + \frac{h^2}{(g-1)^2} + \frac{h^3}{(g-1)^3} + \cdots + \frac{h^n}{(g-1)^n} + \cdots \qquad (13)$$

nous aurons en égalant les coefficients des puissances $n^{\text{èmes}}$ de h, données par les seconds membres des identités (12) et (13), la nouvelle relation :

$$\frac{1}{(g-1)^n} = \frac{1}{g(g+1)..(g+n-1)} + \frac{{}_1S_n}{g(g+1)(g+2)(g+n)} + \frac{{}_2S_{n+1}}{g(g+1)\ldots(g+n+1)} + \cdot \qquad (14)$$

en représentant par ${}_mS_n$ la somme des différents produits que l'on peut former avec la suite naturelle des nombres

$$1, 2, 3, \ldots n$$

en prenant m à la fois ; somme qu'il est toujours possible d'obtenir.

C'est ainsi que :

$${}_1S_n = \frac{n(n+1)}{1.2}$$

$${}_2S_n = \frac{n(n+2)(3n^2-n-2)}{24}$$

$${}_3S_n = \frac{n^2(n+2)^2(n^2-3n+2)}{48}$$

. . . .

En faisant de cette dernière formule (14) $g = \frac{g}{p}$ on a :

$$\frac{1}{(g-p)^n} = \frac{1}{g(g+p)\ldots(g+(n-1)p)} + \frac{p\;{}_1S_n}{g(g+p)\ldots(g+np)} + \frac{p^2\;{}_2S_{n+1}}{g(g+p)\ldots(g+(n+1)p)} + \cdots$$

en admettant que $p = g - 1$, on trouve

$$1 = \frac{1}{g(2g-1)\ldots(ng-(n-1))} + \frac{(g-1)\;{}_1S_n}{g(2g-1\ldots((n+1)g-n)} + \frac{(g-1)^2\;{}_2S_{n+1}}{g(2g-1)\ldots((n+2)g-(n+1))} + \cdots$$

Enfin, si nous posons $n = 1$, nous trouvons :

$$1 = \frac{1}{g} + \frac{(g-1).1}{g(2g-1)} + \frac{(g-1)^2 1.2}{g(2g-1)(3g-2)} + \frac{(g-1)^3 1.2.3}{g(2g-1)(3g-2)(4g-3)} + \cdots$$

ESSAI D'OROGRAPHIE JURASSIQUE.



ŒUVRE POSTHUME

DE

Jules THURMANN.

AVANT-PROPOS.



L'Institut genevois publie aujourd'hui l'ouvrage de feu son collègue M. Jules Thurmann, tel qu'il est sorti des mains de son auteur. Quelques semaines de travail seulement auraient suffi pour achever entièrement cet Essai d'Orographie jurassique, fruit de longues et consciencieuses recherches. Malheureusement, le savant géologue a été enlevé si rapidement, qu'il n'a même pu indiquer à ses amis où se trouvaient les matériaux et les notes destinés à compléter son œuvre. Malgré les lacunes que présente l'ouvrage, l'Institut a pourtant cru devoir le publier en entier, sans y faire le moindre changement, l'héritage que lui a laissé un illustre confrère paraissant trop précieux pour y faire entrer des additions ou des corrections d'une main étrangère.

L'Essai sur l'Orographie jurassique de M. Thurmann comprend quatre parties. La première et la seconde sont complètement achevées; la troisième à un chapitre près; la quatrième partie, l'introduction et les planches offrent des lacunes plus sensibles, mais cependant pas assez considérables pour pouvoir nuire à l'intelligence de l'ouvrage.

Le rôle du Comité de publication, installé par la Section des Sciences de l'Institut genevois, s'est donc borné à la surveillance de l'impression et à l'assemblage de tous les matériaux, travail dans lequel il a été constamment secondé par notre collègue M. Xavier Kohler, de Porrentruy.

Genève, ce 12 Décembre 1856.

Au nom de la Section des Sciences de l'Institut genevois :

C. VOGT,

Président de la Section.

ESSAI D'OROGRAPHIE JURASSIQUE.

INTRODUCTION.

BUT DE CET OUVRAGE ET SOURCES CONSULTÉES.

L'orographie d'un système de montagnes exclusivement sédimentaires se compose des éléments suivants : Connaissance de ses structures; mise en rapport de celles-ci avec les affleurements dans le détail; leur agencement et leurs lois de grande échelle; dynamique des dislocations auxquelles elles doivent naissance; causes prochaines de ces dislocations; leur chronologie particulière; leur placement dans la série générale des révolutions géologiques.

Pour s'élever de proche en proche à ces résultats successifs, il faut d'abord connaître les caractères des masses sédimentaires qui constituent ce système, en tant qu'y jouant un rôle orographique. Ici, il ne s'agit pas de l'histoire paléontologique des terrains; à cet égard, il suffit d'accepter toutes faites les principales divisions établies par les faunes, afin de mettre leurs affleurements en relation avec les structures. Il faut ensuite

et surtout dans ces massifs, envisager les propriétés physiques de compacité, flexibilité, extensibilité, tenacité, stratification, fissuration, etc., qui ont été des facteurs essentiels dans l'acte mécanique des commotions, dislocations, lacérations, dénudations, etc., d'où dérivent les formes observées. Et comme les faits orographiques ont également pu se passer durant la mollesse sédimentaire ou après la consolidation, il est nécessaire d'envisager les massifs à ces deux états. C'est ce que nous essaierons dans la première partie de ce travail.

Ces données établies, on peut ensuite étudier en détail les diverses structures envisagées individuellement, les caractériser, les classer, afin d'en disposer aisément et clairement dans les combinaisons d'ensemble. Ce sera l'objet de notre seconde section.

Il faut rechercher après cela comment ces formes sont agencées entre elles, et reconnaître les lois de leur plexus. C'est ce dont nous nous occuperons dans une troisième partie.

De la considération des lois de structure individuelle ou générale peuvent découler certaines conséquences, soit nécessaires, soit probables, relativement à la dynamique qui a donné naissance aux faits observés. Nous traiterons de ce point dans une quatrième division.

Enfin, les caractères pétrographiques, la disposition des affleurements, les structures particulières ou d'ensemble, le mode dynamique des dislocations peuvent conduire à la détermination de dates certaines ou présumées, jalons principaux dans l'histoire géogénique du système et la reliant à la géologie générale. C'est ce que nous tenterons dans une dernière partie.

Un travail de ce genre ne saurait arriver à des résultats certains qu'autant qu'il est exclusivement établi sur des faits. Ceux-ci doivent être fidèlement observés, en grand nombre, et pris sur tous les points du système. Toute considération purement hypothétique doit être soigneusement séparée de leur examen, toute conséquence nécessaire rigoureusement distinguée des probables. Dût le nombre des résultats obtenus être fort petit, il faut savoir sagement s'y borner et ne pas vouloir faire sortir d'un sujet restreint les généralités d'un plus vaste cadre. Il ne faut, comme disait Montaigne, « pour faire courir ce petit loppin, entreprendre d'escrire toute la physique » car « de ce vice sourdent plusieurs grandes incommoditez. »

Quelque nombreux que soient les faits que l'on a soi-même observés et réunis, il faut avoir une connaissance aussi complète que possible de tous ceux qui ont été consignés par d'autres. Non seulement la richesse des données en est ainsi fort augmentée, mais les conséquences se trouvent ainsi établies sur les bases d'une large solidarité. La première chose que nous ayons à faire est donc de placer ici un historique rapide des connaissances géologiques et orographiques relatives au Jura : il en résultera le tableau des sources mises à contribution, sources auxquelles les conclusions positives du présent ouvrage devront en grande partie leur existence.



ESQUISSE HISTORIQUE.

Avant la fin du siècle dernier, les *cartes topographiques* fournissant des données sur quelques parties de la chaîne du Jura, étaient encore trop imparfaites pour y rendre aisée la mise en rapport des affleurements et des reliefs. Cependant, celles de Cassini pour la partie française, de Weiss, de Mallet pour la partie suisse, auraient pu servir jusqu'à un certain point et ont servi en effet à consigner de nombreuses observations jusqu'à ces dernières années. — En 1806, Osterwald publiait la première bonne topographie d'un district jurassique, celui de Neuchâtel. — En 1819, paraissait le Jura bernois par M. Buchwalder. C'est à cet excellent travail qui, à cette échelle, n'a guère été dépassé depuis, travail représentant la partie la plus régulière des chaînes du Jura, que l'on doit les données les plus positives sur l'orographie jurassique, parce que c'est dans ces chaînes qu'elles étaient les plus faciles à saisir. — Vers 1836, Walker publiait sa carte du Jura soleurois, bien inférieure, il est vrai, aux deux précédentes, mais suffisante néanmoins pour donner une idée juste de ce district. — Celle de Vaucher paraissait, revue, en 1839. — A partir de 1838 commençaient à paraître les belles feuilles de l'Etat-major français, comprenant le Doubs, le Jura, l'Ain, le Haut-Rhin; il est probable que l'Isère paraîtra sous peu. On ne saurait assurément désirer un plus beau canevas pour l'orographie jurassique. — Vers 1843 paraissaient les premières feuilles de l'État-major suisse, qui fournissent déjà une grande partie du Jura helvétique; fort belles assurément, le géologue y regrette cependant l'emploi de la lumière oblique, qui rend captieuse l'appréciation des pentes. — En 1850, M. Michaelis publiait sa magnifique carte d'Argovie. — Ainsi, en ce moment, ou dans bien peu, le Jura sera entièrement représenté par d'excellentes cartes topographiques.

La connaissance des terrains dans le Jura, c'est-à-dire (à cette époque) leur parallélisme avec ceux d'Allemagne, ne date guère que de 1810 à 1820. Même autour de cette dernière date, Chantrau, Charbaut, Conrad Escher, Henri Zschokke, Rengger, ne possédaient encore à cet égard que des données fort imparfaites. L'ouvrage de M. Merian sur le Jura bâlois posait en 1821 les premières bases réellement positives et fondamentales à cet égard, bien que dénuées encore de paléontologie : les principaux groupes jurassiques y étaient distingués, les terrains tertiaires et modernes placés dans un juste rapport avec ceux-ci, le keupérien et le conchylien parallélisés, bien qu'avec quelque doute et non sans quelques traces encore de l'idée erronée admettant la répétition des mêmes formes. — En 1825, Voltz, avec sa sagacité ordinaire, établissait les principales relations des terrains oolitiques du Jura alsatique.— En 1828, Brongniart décrivait les minerais de fer de cette même partie de nos montagnes. — En 1826, M. Studer indiquait les justes rapports de gisement des molasses dans l'intérieur du Jura, et Charbaut faisait faire un pas de plus à la connaissance du liasique et du keupérien dans la région occidentale. — Cependant, encore en 1829, Rengger méconnaissait en Argovie les faits établis par M. Merian.

C'est en 1830 que M. Thirria, dans ses mémoires sur la Haute-Saône, secondé du concours paléontologique de Voltz, établit les parallélismes anglais et précisa les principales coupures qui existent encore aujourd'hui. — En 1832, je reconnaissais et décrivais dans le Jura bernois les coupures de M. Thirria, et proposais les expressions françaises de portlandien, corallien, oxfordien, oolitique, liasique, keupérien, expressions particulièrement nécessaires au point de vue orographique et qui, à très-peu de chose près, correspondent à des époques paléontologiques.

Jusque-là, le néocomien actuel, déjà remarqué par de Saussure comme distinct des massifs jurassiques et signalé par M. de Buch comme crétacé, était une formation problématique. En 1834, un petit groupe de géologues jurassiens se rendit à Neuchâtel, pour examiner ce terrain, étudié par M. de Montmollin, qui le désignait sous le nom de terrain crétacé du Jura. L'année suivante paraissait le mémoire de ce géologue à ce sujet : il fut le point de départ de la connaissance de ce groupe si important. — La même année, M. Millet-d'Aubenton esquissait les affleurements de quelques parties de l'Ain, et M. Virlet les terrains à ossements de Franche-Comté.

En 1836 paraissait un second mémoire sur le néocomien du Jura français, celui de M. Thirria : il le désignait sous le nom de Jura crétacé. A la seconde réunion de la Société géologique des Monts-Jura, qui eut lieu la même année à Besançon, je proposais la dénomination de néocomien, qui a prévalu depuis. Dans cette réunion, à laquelle prirent part MM. Parandier, de Montmollin, Thirria, Renaud-Comte, Renoir, Gressly, etc., et à laquelle furent présentées de nombreuses séries de roches jurassiques depuis l'Albe wurtembergeoise jusqu'à la perte du Rhône, il fut reconnu que, sauf quelques modifications, la division en groupes portlandien, corallien, etc., se maintenait dans toute la chaîne du Jura; la présence du grès vert fut aussi constatée dans plusieurs hautes vallées. Je proposais l'expression de sidérolitique pour le terrain des minerais en grains. Ces mêmes généralités, exposées succinctement par moi en 1836 et 1837 aux réunions de la Société géologique de France à Strasbourg, des naturalistes allemands à Stuttgart, des naturalistes suisses à Soleure, se répandirent ainsi rapidement. Elles servirent de premier fil conducteur à M. de Mandelsloh dans le Jura wurtembergeois.

En 1838, la Société géologique de France, réunie à Porrentruy, munie de ma carte géologique du Jura bernois, en visitait les terrains et emportait de nombreuses collections de roches et de fossiles qui servirent à retrouver au loin des parallélismes. M. Nicolet y décrivait le Jura de la Chaux-de-Fonds, M. Renoir celui de Béfort, etc. La même année paraissait l'excellent mémoire de M. Gressly sur le Jura soleurois, dans lequel la connaissance des terrains jurassiques et triasiques, tertiaires et sidérolitiques, faisait un véritable progrès au point de vue paléontologique et géogénique.

L'année 1839 voyait paraître la carte du Jura neuchâtelois de M. de Montmollin, puis l'étude des environs de la Chaux-de-Fonds de M. Nicolet, travaux importants relativement à la distribution des terrains crétacés et tertiaires.

En 1840, M. Mousson décrivait le Jura zuricois. — M. Parandier, au congrès scientifique de France à Besançon, donnait une monographie d'une partie du groupe oolitique. La Société géologique de France, réunie à Grenoble, s'occupait des rapports entre le néocomien et les terrains sous- et superjacents qui relient les Alpes aux chaînes jurassiques. — M. Lardy présentait la carte du Jura vaudois, coloriée géologiquement.

L'année suivante, M. Itier faisait connaître le néocomien de l'Ain, ses rapports, son étendue dans le Jura méridional.

En 1842, la Société géologique de France, réunie à Aix, élucidait les rapports des terrains jurassiques, crétacés et tertiaires, dans les contrées sardes au contact du Jura et des Alpes. M. Guyot traçait la distribution des terrains erratiques dans le Jura. En 1843, M. Favre faisait connaître les terrains du Salève; M. Lardy esquissait ceux du Jura vaudois; M. Blanchet ceux du Léman.

L'année 1846 voyait paraître une partie des observations de feu Renaud-Comte, où l'importance du groupe astartien était mise en évidence. M. Marcou publiait un travail capital, roulant sur le Jura salinois, mais résumant en réalité l'état de la connaissance des terrains dans le Jura occidental. — M. Collomb étudiait les environs de Sainte-Croix. — M. Lory les terrains secondaires des environs de Grenoble.

L'année suivante, M. Mousson fournissait d'importantes et positives données sur diverses chaînes du Jura sarde.

En 1848, M. A. Gras contribuait à la connaissance des terrains des environs de Grenoble, et M. Daubrée à celle des rapports des terrains modernes du Sundgau avec le Jura.

L'année 1849, MM. Pidancet et Lory découvraient les représentants du wealdien et de la craie dans le Jura. — En 1851, M. Quiquerez décrivait avec détail le sidérolitique du Jura central, tandis que MM. Gressly, Greppin, Bonanomi, faisaient connaître avec une exactitude toute nouvelle les terrains tertiaires des vallées de cette même contrée. — En 1851, M. Lory fournissait d'excellentes et nombreuses données sur les terrains crétacés de l'Isère.

De tous ces travaux publiés, les plus importants à consulter et qui ont le plus contribué à la connaissance des terrains dans le Jura, sont ceux de MM. Merian, Thirria, Thurmann, Gressly, de Montmollin, Mousson, Itier, Favre, Marcou, Quiquerez. Presque tous sont encore à consulter en ce moment, surtout les plus récents.

Mais la connaissance des terrains, et surtout de leur distribution dans le Jura, n'est pas seulement due à ces publications. Les données inédites n'ont cessé de s'accumuler depuis 1835 jusqu'à ce moment par les soins d'un bon nombre d'observateurs locaux. Ce sont en partie ces données qui, jointes à celles que nous avons signalées, ont, avec celles des auteurs eux-mêmes, permis à MM. Elie de Beaumont et Dufrenoy les généralités jurassiques consignées dans la carte géologique de France, et permettent

en ce moment à MM. Studer et Escher le même travail pour la carte géologique suisse.

Dans le Jura argovien, soleurois et zuricois, MM. Wangger à Aarau, Schmidlin à Laufenburg, puis Gemsingen, Bosshard à Mandach, Cartier à Buchsitten, Strohmeyer à Gösgen, Lang à Soleure, Minnich à Baden, ont réuni de nombreux gisements, qui, joints aux données capitales de M. Gressly sur les mêmes régions et aux parties publiées, ont permis la publication de la première feuille orographique qui est l'objet principal du présent travail. — Dans le Jura neuchâtelois et vaudois, MM. Lardy, Nicolet, Blanchet, Campiche, Agassiz, ont complété les données de M. de Montmollin et colorié les chaînes vaudoises. Dans le Jura bernois, MM. Quiquerez, Bonanomi, Greppin, Gressly, n'ont cessé de réunir de nouveaux documents. Dans les départements français, MM. Marcou, Germain, Bonjour, Lauvanaud, Thiollière, Bernard, Devigny, Lamairesse, Renaud-Comte, Carteron, Parrot, Parandier, Delesse, Chopard, Boyé, Lory, Pidancet, Campiche, Benoît, etc., ont réuni une foule de données encore inédites et qui notamment serviront directement aux cartes spéciales du Doubs et du Jura sous la direction de MM. Boyé et Pidancet.

Durant les vingt dernières années je n'ai moi-même cessé de diriger des voyages dans quelques parties du Jura; je l'ai visité sur une foule de points depuis le Randen et le Lægerberg jusqu'à Chambéry et Grenoble. Non seulement j'ai colorié géologiquement le Jura bernois et de grandes parties du Jura neuchâtelois et soleurois, mais encore des districts considérables du Doubs, de l'Ain et des coupes fort étendues depuis les hautes chaînes jusqu'à la vallée de la Saône. Ces travaux me permettent ainsi de relier aisément les autres matériaux publiés ou inédits dont je suis en possession et éventuellement ceux destinés à paraître, du moins dans le but spécialement orographique, qui n'exige pas des données trop détaillées sur la distribution des subdivisions.

Il est aisé, par ce qui précède, de juger le point où se trouve actuellement la connaissance générale des affleurements dans le Jura. Examinons maintenant la marche parallèle qu'a suivie à travers la même période l'étude des structures, qui n'a pu progresser qu'avec le secours de la connaissance des terrains.

Si l'on envisage combien dans le Jura les reliefs sont fortement accusés, on comprendra que presque tous les observateurs mentionnés plus haut, même ceux qui n'en

étaient occupés qu'indirectement, ont dû apporter leur contingent de faits orographiques. Nous allons toutefois nous borner à l'histoire des principales données de ce genre.

Les opinions orographiques des observateurs avant de Saussure sont, relativement au Jura, à peu près nulles ou supportent à peine l'examen : inutile donc de s'y arrêter. De Saussure, se basant sur l'examen de certaines formes du Jura méridional, envisageait nos chaînes comme formées par une voûte de couches au milieu de laquelle les plus intérieures étaient verticales; il regardait celles qui s'éloignent de ce type comme des modifications de cette espèce de noyau par des ruptures et enlèvements de portions. Il faut reconnaître que, sauf le verticalisme des couches intérieures, il y avait quelque chose de vrai dans ce système, puisqu'une foule de chaînes sont formées de voûtes diversement rompues[1].

En 1804, M. de Buch, dans un mémoire demeuré inédit, envisageait les formes du Jura neuchâtelois comme résultant de dislocations, et consignait à cet égard une foule d'aperçus qui, s'ils eussent reçu la publicité, eussent beaucoup hâté la naissance de l'orographie jurassique.

J.-A. Deluc, oncle, n'a point, à ma connaissance, formulé de système orographique à l'égard du Jura. Cependant, il avait exécuté des coupes fort exactes de plusieurs chaînes, notamment de la vraie structure du Salève, coupes que j'ai vues entre les mains de feu J.-A. Deluc, neveu. La publication de ces coupes aurait certainement avancé la solution de la question qui nous occupait.

Ebel ne paraît pas avoir touché spécialement à ce sujet; du reste, ses vues relatives aux Alpes indiquent un esprit plus disposé aux généralisations théoriques qu'à la patiente observation des faits de détail indispensable à l'avancement de l'orographie.

De 1810 à 1823, C. Escher de la Linth, esprit positif, vrai précurseur de l'observation moderne dans les Alpes, avait aussi visité le Jura. Il avait notamment signalé ce fait de la cessation brusque de certaines chaînes, en marchant de l'ouest vers l'est, fait exact, sauf certaines réserves, que l'on n'a peut-être pas encore suffisamment pris

1. Les personnes qui portent intérêt à l'historique de la science liront avec plaisir un résumé fort lucide des idées de de Saussure, avec faits et controverses y ayant trait, dans la *Geognostische Uebersicht der Schweiz* de C. Bernouilli, ouvrage publié en 1811.

en considération. — A la même époque, H. Zschokke expliquait le Jura d'Argovie comme formé de plusieurs ruptures parallèles plus ou moins modifiées par des dénudations. — M. Merian combattait les opinions de de Saussure et distinguait dans le Jura bâlois une région de plateaux horizontaux et une autre d'accidents à couches redressées, sans toutefois saisir la loi de configuration des chaînes proprement dites, loi qui, en effet, à ce point était mal aisée à reconnaître, et sans entièrement repousser l'idée erronée de la répétition des formations.

En 1826, M. Studer signalait des molasses redressées dans les vals intérieurs du Jura bernois, et M. Charbaut pressentait les failles du plateau occidental aux environs de Lons-le-Saulnier.

En 1829 paraissaient les profils de MM. Merian et Rengger, les premiers qui traversaient de part en part le système du Jura : les conclusions en étaient bien différentes. M. Rengger, coupant des chaînes rabattues, suivies de plateaux, voyait se répéter à plusieurs fois comme les uns sous les autres les mêmes terrains, et se trouvait ainsi entraîné loin de la vraie solution. Au contraire, M. Merian, rencontrant quelques chaînes à formes symétriques, arrivait à l'hypothèse explicative qui devait trouver sa constatation dans la majeure partie des chaînes du Jura les moins bouleversées. — La même année, M. Hugi donnait sans conclusions suffisantes une coupe de la Rœthifluh, qui était également de nature à le mettre sur la voie. — L'année suivante, M. Thirria rendait attentif aux grandes failles de la Haute-Saône. C'est en ce moment que le mémoire de ce dernier géologue vint donner une connaissance plus complète et plus exacte des différentes divisions jurassiques et mettre fin à des confusions d'assises qui avaient été jusque-là un obstacle sérieux.—Connaissant le Jura bernois depuis plusieurs années, et ayant déjà remarqué la symétrie topographique de ses chaînes, symétrie qui ne saurait échapper à un observateur quelque peu attentif, je fus immédiatement frappé de la manière dont l'hypothèse de M. Merian cadrait avec les faits qui s'y présentent de toutes parts. Trois années furent exclusivement employées à les étudier, et, en 1832, paraissait la première partie de l'*Essai sur les soulèvements jurassiques*. J'y décrivais et classais les formes orographiques observées comme résultant de l'application d'un agent soulevant, et désignais les divers accidents par une nomenclature particulière. Il y avait ainsi des chaînes de plusieurs ordres, des voûtes, des crêts, des ruz, des

cirques et des cluses. Le tout était en réalité non pas une théorie, mais une simple classification de faits positifs. Ce qu'il pouvait y avoir de discutable, quant au mode d'action de l'agent soulevant, n'était que secondaire et ne changeait rien au caractère positif des faits classifiés; seulement, le cadre de classification pouvait être insuffisant pour certains nouveaux faits à reconnaître ultérieurement. Malgré quelques erreurs renfermées dans ce mémoire, et notamment celle que le portlandien n'avait pas été soulevé, il fixa l'attention par la simplicité et l'évidence des faits dont les analogues furent immédiatement reconnus sur plusieurs points du Jura.

En 1834, la première réunion de la Société géologique des Monts-Jura à Neuchâtel apportait à l'appui plusieurs exemples pris dans les chaînes neuchâteloises, soleuroises et françaises. La même année, la connaissance de cette classification orographique, exposée aux réunions de la Société géologique de France à Strasbourg, et à celle des naturalistes allemands à Stuttgardt, se répandait rapidement. Une notice de M. Rozet sur certaines parties du Jura occidental soulevait seule quelques dissidences, que nous examinerons ailleurs.

En 1836 paraissait ma carte du Jura bernois, qui complétait la démonstration des vues orographiques dont nous parlons. La même année, à Besançon, la seconde réunion des géologues jurassiens apportait de plusieurs districts de nouvelles preuves à l'appui de la convenance de la classification proposée et combattait les dissidences de M. Rozet à cet égard, tout en admettant l'introduction, dans le cadre proposé, de certains éléments nouveaux, tels que le portlandien et le néocomien redressés et la modification des types réguliers par des accidents, dépendant soit de l'état pétrologique de certains groupes, soit d'autres dislocations *sui generis,* telles que les failles de la Haute-Saône. Les géologues qui prirent part à cette réunion, étaient notamment MM. Thirria, Gressly, Parandier, Renaud-Comte, de Montmollin et Renoir. Quelques semaines auparavant, la même classification avait été accueillie avec la même faveur à la réunion de la Société helvétique à Soleure, où, comme à Besançon et à Neuchâtel, on en fit immédiatement l'application aux montagnes voisines.

L'année suivante, la Société géologique de France, réunie à Porrentruy, visitait une partie du Jura bernois et soleurois où elle pouvait, carte géologique en main, contrôler la vérité des formes orographiques signalées. M. Leblanc présentait quelques nouvelles

coupes du Doubs également confirmatives, et M. Nicolet indiquait les modifications apportées à la forme de certains accidents dans les montagnes de Neuchâtel par suite de l'état particulier de certains terrains.

La même année, paraissait le mémoire de M. Gressly sur le Jura soleurois, dans lequel, relativement aux structures orographiques, cet observateur suivait point pour point la nouvelle classification. En revanche, presque en même temps, M. Parrot publiait une notice, dans laquelle, en opposition avec l'idée de soulèvement, il attribuait les formes orographiques décrites à des affaissements résultant de vacuités dues à des courants souterrains ; cette opinion laissait du reste dans toute son intégrité le cadre de classification, qui est la seule chose dont nous nous occupons ici.

En 1839, M. de Montmollin publiait la carte du Jura neuchâtelois où, relativement aux formes orographiques, il en référait entièrement à ma classification. M. Nicolet décrivait la vallée de la Chaux-de-Fonds. Ces deux publications constataient de plus en plus le relèvement du néocomien et des molasses.

L'année suivante paraissait le mémoire de M. Mousson sur la chaîne du Lægerberg, où il était aisé de reconnaître l'une des formes déjà classées. La réunion de Grenoble donnait lieu à de nouveaux profils de structures dans les Alpes voisines du Jura, propres à éclairer sur les différences qui existent à cet égard entre ces deux chaînes.

En 1842, la réunion de Chambéry, bien que presque exclusivement préoccupée d'élucider certains points importants de classification, fournissait des données importantes sur le rôle capital du néocomien dans les accidents orographiques, sur les caractères particuliers des chaînes du Jura sarde à ce contact des Alpes, et sur la nécessité d'étudier le cadre de classification jurassique proprement dite, de manière à y faire entrer ce genre de structures.

L'année 1843 voyait paraître le travail de M. Favre sur le Salève, qui fournissait des données du même genre, mais plus positives et révélant une catégorie des formes orographiques importantes à envisager spécialement dans le Jura méridional.

En 1844, M. Lardy fournissait sur plusieurs chaînes vaudoises des indications qui les rapprochaient de la norme proposée, et M. Blanchet des données relativement au rôle des terrains tertiaires du pied du Jura.

La classification des vallées d'érosion du Doubs, ouvrage posthume de Renaud-Comte

paraissait l'année suivante et ajoutait aux précédents un nouvel élément orographique bien étudié; il révélait en outre plus particulièrement le rôle de l'astartien; enfin il fournissait de nouveaux exemples de l'importance des failles extérieures à l'axe des reliefs. La même année, le mémoire de M. Marcou sur le Jura salinois offrait aussi plusieurs données orographiques du même genre et la carte d'un nouveau district.

L'année suivante, MM. Pidancet et Lory, dans plusieurs notices, fournissaient de précieuses données sur le rôle des failles aux environs de Besançon, sur la structure de la Dôle, sur la position du néocomien dans le Jura vaudois, etc. L'importance de la prise en considération des failles situées en dehors des axes de chaînes régulières, devenait de plus en plus évidente, et M. Pidancet en proposait une classification. — M. Mousson publiait d'excellentes coupes de plusieurs chaînes du Jura sarde, éclairant le même ordre de faits : il proposait également un classement particulier dépendant du rôle relatif des lèvres de rupture des failles.

En 1848, M. A. Gras donnait de nouvelles coupes générales du groupe alpin de la Chartreuse, passage au Jura, mettant en évidence le rôle prépondérant du néocomien à ce point.

M. Lory découvrait, en 1849, la craie dans le Jura du Doubs et son rôle dans les dislocations.

L'année suivante, M. Boyé décrivait avec une exactitude précieuse les nombreuses failles de Lons-le-Saulnier. M. Germain donnait une nouvelle coupe des environs de Salins. M. Gressly fournissait de nouvelles données sur le redressement des molasses au val de Laufon.

En 1851, M. Quiquerez établissait les rapports orographiques du sidérolitique dans le Jura bernois; MM. Greppin et Bonanomi, ceux des molasses du val de Delémont; M. Payen décrivait plusieurs failles de la Côte-d'Or; et M. Lory, celles du plateau jurassique de l'Isère, extension de ce mode de dislocation de l'autre côté de la Saône. (Bonjour, Greppin, Zschokke, Renoir et Blanchet.)

Telle est l'histoire ou du moins la chronologie des principaux documents publiés jusqu'à ce jour sur les formes orographiques du Jura. Ces travaux sont tous à consulter pour arriver à un premier essai de généralisation.

Mais ici, comme pour la distribution des terrains, il existe une foule de données

inédites non moins importantes, dont un grand nombre sont entre nos mains : la plupart sont dues aux observations de MM. Gressly, Renaud-Comte, Marcou, Agassiz, Quiquerez, Greppin et Bonanomi, Bosshard et Schmiedlin, Cartier, Strohmeyer, Carteron, Bernard de Nantua, Kœchlin, Coutejean, Bernard, Lamairesse, Roux, Campiche, Benoît, etc. J'en ai recueilli moi-même sur une foule de points, notamment dans le Jura français.

On se convaincra, par tout ce qui précède, qu'il est déjà permis d'essayer, en groupant toutes ces données, une classification orographique générale. Bien que le Jura ne compte encore que quelques districts pourvus de cartes géologiques et orographiques détaillées, on possède cependant la distribution générale et une foule de faits relatifs aux structures.

Ce sont ces documents de toute espèce que nous utiliserons dans un but exclusivement orographique. Plus tard, la publication des diverses cartes spéciales des districts jurassiques pourra compléter les détails et relever sans doute quelques erreurs locales, mais non renverser des généralités appuyées sur la très-grande majorité des faits.



OUVRAGES, MÉMOIRES ET CARTES

Fournissant des données sur l'Orographie du Jura.[1]

1774-1794. De Saussure. — Voyages dans les Alpes.

1803. De Buch (Léopold). — Catalogue d'une collection des roches formant les montagnes de Neuchâtel. Mss.

1821. Merian (Pierre). — Beitræge zur Geognosie, vol. 1 et 2, 1821-31.

1822. Escher (C. von der Linth). — Einige geognostische Angaben über das Juragebirge. Leonhard's Taschenbuch.

1824. Rengger. — Beitræge zur Geognosie, vol. 1.

1825. Studer (B.). — Beitræge zu einer Monographie der Molasse. Bern, 1825.

1828. Voltz. — Géognosie des deux départements du Rhin.

— Aufschlager. — Description de l'Alsace. Strasbourg, 1828.

1829. Merian (P.). — Geognostischer Durchschnitt durch das Juragebirge. Mémoires de la Société helvétique, vol. 1.

— Rengger. — Ueber den Umfang der Juraformation. *Ibid.*

1830. Thirria. — Notice sur le terrain jurassique de la Haute-Saône. Mémoires de Strasbourg, vol. 1.

1832. Thurmann. — Essai sur les soulèvements jurassiques, 1er cahier. Mémoires de Strasbourg, vol. 1.

1833. Thirria. — Statistique minéralogique et géologique de la Haute-Saône.

1834. Voltz. — Carte géologique du Haut-Rhin. Mémoires de la Société industrielle de Mulhouse.

1835. De Montmollin (A.). — Mémoire sur le terrain crétacé du Jura. Mémoires de la Société de Neuchâtel, vol. 1.

1836. Gressly (A.). — Geognostische Bemerkungen. Neues Jahrbuch von Leonhard und Bronn.

1. Malgré l'état incomplet dans lequel se trouve cette notice bibliographique, nous avons pensé devoir la publier telle quelle, parce qu'elle renferme beaucoup de titres d'ouvrages rares ou de mémoires tirés de publications peu connues. C. V.

1836. THURMANN (J.). — Essai sur les soulèvements jurassiques, 2e cahier, avec la carte du Jura bernois. Porrentruy.

1837. THURMANN (J.) — Sur les soulèvements jurassiques. Actes de la Société helvétique.

— ROZET. — Sur les soulèvements jurassiques. Bulletin de la Société géologique de France, 1re série, vol. 6.

1838. GRESSLY (A.). — Observations sur le Jura soleurois. Mémoires de la Société helvétique, 2e série, vol. 2.

— LEBLANC. — Coupes géologiques. Sur les dénudations. Bulletin de la Société géologique, 1re série, vol. 9.

— NICOLET (Célest.). — Influence de la nature des roches dans les formes orographiques du Jura neuchâtelois. Bulletin de la Société géologique, 1re série, vol. 9.

— PARRAT. — Théorie des courants souterrains. Porrentruy.

1839. PARRAT. — Application de la théorie des courants souterrains. *Ibid.*

— ITIER. — Mémoire sur les roches asphaltiques de la chaîne du Jura. Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Isère.

— MONTMOLLIN (A. de). — Carte géologique du Jura neuchâtelois. Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Neuchâtel, vol. 2.

— NICOLET (Célest). — Essai sur la constitution géologique du val de la Chaux-de-Fonds. Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Neuchâtel, vol. 2.

1840. MOUSSON. — Geologische Skizze der Umgebungen von Baden.

1841. ÉLIE DE BEAUMONT et DUFRÉNOY. — Carte géologique de la France.

1843. FAVRE (Alph.). — Considérations géologiques sur le mont Salève. Mémoires de la Société de physique de Genève, t. 10.

1844. LARDY. — Naturgeschichtliche Umrisse, etc. Description géologique du canton de Vaud. Dans : Gemælde der Schweiz. Volume : Vaud.

— BLANCHET (Rod.). — Le terrain erratique alluvien du Léman.

1846. RENAUD-COMTE. — Étude systématique des vallées d'érosion dans le département du Doubs. Mémoires de la Société d'émulation du Doubs.

— MARCOU (Jules). — Jura keupérien. Mémoires de Neuchâtel.

— MARCOU (Jules). — Recherches géologiques sur le Jura salinois. Mémoires de la Société géologique de France.

1847. MARCOU (Jules). — Sur les hautes sommités du Jura. Bulletin de la Société géologique, 2e série, vol. 4.

— MOUSSON. — Bemerkungen über die Thermen von Aix in Savoyen. Mémoires de la Société helvétique, 2e série, tome 8.

— PIDANCET. — Notes sur quelques phénomènes que présentent les failles du Jura. Mémoires de la Société d'émulation du Doubs.

1847. LORY et PIDANCET. — Note sur la Dôle. Bulletin de la Société géologique, 2e série, vol. 5.

1847. Lory et Pidancet. — Sur le phénomène erratique des hautes vallées du Jura. Sur les relations du néocomien et du jurassique aux environs de Sainte-Croix. Mémoires de la Société d'émulation du Doubs.

1848. Gras. — Notice géologique sur les terrains de l'Isère. Bulletin de la Société d'histoire naturelle de l'Isère, vol. 4.

— Roux. — Notice géologique sur le Chasseron. Bibliothèque universelle de Genève.

1849. Lory. — Présence et caractère de la craie dans le Jura. Bulletin de la Société géologique, vol. 6.

1849. Thurmann. — Essai de phytostatique. Neuchâtel, 2 vol.

1850-1853. Thurmann. — Lettres écrites du Jura. Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern.

1850. Boyé. — Notice sur la géologie des environs de Lons-le-Saulnier. Mémoires de la Société d'émulation du Doubs.

— Germain. — Propriétés des sources de Salins : Coupe.

— Quiquerez. — Sur le terrain keupérien supérieur dans la vallée de Bellerive, près Delémont. Mittheilungen der Berner Gesellschaft.

1851. Lory. – Sur le plateau jurassique du nord de l'Isère. Sur la série crétacée de l'Isère. Bulletin de la Société géologique, t. 9.

— Greppin et Bonanomi. — Les terrains tertiaires du val de Delémont. Mittheilungen der Berner Gesellschaft. Lettres écrites du Jura, de Thurmann.

— Payen. – Géologie de la Côte-d'Or. Journal d'agriculture de la Côte-d'Or.

— Studer (B.). — Geologie der Schweiz, 2 vol.

— Studer (B.) et Escher de la Linth (A.). — Carte géologique de la Suisse.

1852. Quiquerez. — Recueil d'observations sur le terrain sidérolitique du Jura bernois. Mémoires de la Société helvétique, vol. 12.

— Brunner. — Sur les phénomènes du soulèvement des Alpes. Bibliothèque universelle de Genève.

— Heer (Osw.). — Die Lias-Insel des Aargau's. Leçon publiée à Zurich.

— Escher de la Linth (A.). – Die Gegend von Zurich in der letzten Periode der Vorwelt. Leçon publiée à Zurich.

1853. Rénevier. – Note sur le néocomien de Neuchâtel. Bulletin de la Société vaudoise.

— Gressly. — Coupe du Hauenstein.

— Benoit. — Essai sur les anciens glaciers du Jura.

— Gressly et Mayer. — Nouvelles données sur les faunes tertiaires de l'Ajoie.

— Greppin. — Tableau de la division du tertiaire du val de Delémont.

— Quiquerez. — Nouvelles remarques sur le sidérolitique.

— Thurmann. — Résumé des lois orographiques de la chaîne du Jura.

(Benoit … Thurmann: Actes de la Société helvétique, réunie à Porrentruy, 1853.)

1855. GREPPIN. — Note géologique sur les terrains tertiaires du Jura bernois. Mémoires de la Société helvétique, vol. 14.

— RENEVIER. — Mémoire géologique sur la perte du Rhône. *Ibid.*

— MORTILLET (G.). — Prodrome d'une géologie de la Savoie. Mémoires de l'Institut de Genève, vol. 2.

— THURMANN. — Résumé relatif au pélomorphisme des roches. Actes de la Société helvétique, réunie à la Chaux-de-Fonds.



I.

Des terrains qui composent la chaîne du Jura, envisagés comme massifs orographiques.

(ESQUISSE GÉOGRAPHIQUE RAPIDE DE LA CHAINE DU JURA, RENVOYANT A LA CARTE.)

---

§ 1. *Classification des terrains du Jura en massifs orographiques.*

Les terrains qui constituent essentiellement la chaîne du Jura sont, dans leur ordre d'importance : les terrains jurassique, triasique, crétacé et tertiaire.

Dans les reliefs et les dépressions qui correspondent aux diverses subdivisions de ces terrains, leur état d'agrégation joue un rôle principal. C'est donc à cet égard qu'il est indispensable de les classer ici.

En général, dans les accidents orographiques, les massifs consistants se formulent en reliefs, tandis que les massifs inconsistants, ne pouvant se soutenir par eux-mêmes, se formulent en dépressions : à la première catégorie appartiennent la plupart des roches calcaires ; à la seconde, la plupart des marnes, argiles, schistes, grès tendres, etc. ; quelques roches tiennent le milieu. Les caractères orographiques relatifs aux affleurements sont particulièrement sous la dépendance des contrastes de reliefs et de dépressions correspondant respectivement à la consistance et à l'inconsistance des roches qui s'y succèdent.

De ce qui précède, il résulte que, dans une carte orographique, les couleurs destinées à mettre ces rapports en évidence ne correspondent pas nécessairement à celles que l'on choisirait pour représenter les affleurements dans un but purement paléontologique. Ainsi, dans une carte coloriée à ce dernier point de vue, il serait important de donner des teintes différentes aux groupes portlandien et corallien, tandis

que, pour satisfaire à l'intention orographique, il importe, au contraire, d'en faire jaillir l'ensemble par une seule couleur, parce que cet ensemble constitue habituellement un massif compacte qui se formule en commun dans les reliefs, et parce que, en opérant autrement, on rendrait souvent peu intelligible la physionomie des accidents topographiques qu'ils constituent. On peut appliquer la même remarque aux dépressions généralement produites par l'ensemble des groupes liasique et keupérien. Il va sans dire cependant que, moyennant des représentations à une échelle topographique suffisamment grande, ces inconvénients diminueraient; mais en général, ils ne laissent pas de nuire à la clarté des faits de structure plutôt que d'y être utiles.

Ces remarques expliqueront suffisamment la division orographique suivante, que nous envisageons dans la chaîne du Jura.

La série jurassique se divise en 4 massifs : — 1° Portlandien et corallien, compacte. — 2° Oxfordien, meuble. — 3° Oolitique, compacte. — 4° Liasique meuble, envisagé en commun avec le premier groupe du triasique, savoir le keupérien.

La série triasique se divise en trois groupes : — 1° Le keupérien meuble, envisagé en commun avec le liasique, et dont nous avons déjà parlé. — 2° Le conchylien, compacte. — 3° Le grès bigarré, meuble, ne jouant qu'un rôle très-minime.

La série crétacée se divise en : — 1° Néocomien, que nous diviserons quelquefois en inférieur marneux et supérieur calcaire, le tout jouant assez généralement le rôle de massif consistant. — 2° Grès vert et craie ne jouant point de rôle orographique important ou soutenu.

Entre les terrains jurassiques et les crétacés il faut ajouter : — 1° Le sidérolitique. — 2° Le nagelfluh jurassique. — 3° Le wealdien. — Les deux premiers révèlent des considérations orographiques importantes, sans jouer de rôle orographique proprement dit.

Enfin, la série tertiaire sera pour nous uniquement formée par les molasses avec ou sans nagelfluh, roches le plus souvent assez inconsistantes dans le Jura, puis les calcaires d'eau douce, roches souvent assez compactes; le rôle orographique des terrains tertiaires n'est guère qu'accessoire dans nos montagnes.

Il serait fort inutile de s'occuper ici d'une synonymie des divers étages dans lesquels les divers auteurs récents ont divisé paléontologiquement ces terrains.

§ 2. *Les principaux caractères pétrographiques de ces massifs.*

En résumé, donc, les massifs qui contribuent essentiellement à la composition de la chaîne du Jura et aux grands traits de sa structure, sont d'abord le *portlando-corallien, l'oxfordien, l'oolitique,* le *liaso-keupérien* et le *conchylien;* puis le *néocomien;* enfin le *molassique.*

Portlando-corallien. Massif de calcaires compactes prédominants, puis oolitiques. Le corallien est particulièrement compacte, sans subdivisions marneuses. Le portlandien est, dans une grande partie du Jura bernois et bisontin, divisé par trois assises marneuses: celle des marnes à virgules, à ptérocères, à astartes. Les deux premières ne paraissent point jouer de rôle orographique bien accusé et quelque peu soutenu. La troisième, qui est plus puissante et plus nettement marneuse, donne lieu à des modifications que nous examinerons en leur lieu. En général, l'ensemble portlando-corallien se conduit orographiquement comme un seul massif de roches résistantes, solides, susceptibles de se soutenir par elles-mêmes en reliefs anguleux. Les teintes qui dominent dans ce groupe sont le blanc plus ou moins jaunâtre, ocracé, verdâtre, le gris écru, et, pour les marnes astartiennes, le gris bleuâtre.

Oxfordien. Comprenant le terrain-à-chailles, massif d'argiles et de marnes qui passe dans certains districts à des calcaires marno-compactes souvent schisteux, moins meubles que les marnes. Cet ensemble se conduit orographiquement comme un massif de roches non consistantes, incapable de se soutenir en reliefs et donnant lieu, au contraire, à des dépressions encadrées de diverses manières par les massifs compactes corallien et oolitique. Cependant, ses divisions marno-compactes font naître à certains égards dans plusieurs districts, au rôle général du groupe, quelques modifications que nous aurons à envisager. Les teintes dominantes sont le gris bleuâtre, puis parfois le blanc jaunâtre, ocracé.

Oolitique. Ensemble de calcaires oolitiques avec d'assez puissantes subdivisions presque compactes et quelques-unes un peu marneuses, sans importance orographique, le tout agissant comme massif compacte et se formulant en reliefs. Ses teintes dominantes sont le gris roussâtre ou violacé, souvent maculé de bleuâtre.

Liaso-keupérien. Ensemble de calcaires compactes, schistes, marnes, argiles, grès

marneux, agissant en général comme massif meuble incapable de se formuler en reliefs, sauf quelques assises calcaires, lesquelles cependant, étant trop peu puissantes et immédiatement encadrées de couches marneuses, ne donnent que rarement lieu à des formes vigoureuses et soutenues. Teintes gris bleuâtre foncé dans le liasique, gris bigarrés de rougeâtre, de verdâtre et de bleuâtre dans le keupérien.

Conchylien. Massif de calcaires et de marnes moins consistant que les groupes supérieurs, mais se formulant cependant souvent en reliefs assez arrêtés et assez hardis. Gris enfumé assez sombre, parfois blanchâtre.

Néocomien. Ensemble de calcaires et de marnes, les premières résistant et formulant ordinairement des reliefs, les secondes dessinant le plus souvent des dépressions. Le jaune ocracé, parfois verdâtre, domine dans les calcaires; le blanc jaunâtre et le gris bleuâtre dans les marnes.

Molassique. Ensemble de grès parfois compactes, le plus souvent assez meubles dans le Jura, formulant des dépressions ou des reliefs émoussés à teintes verdâtres très-prédominantes. Les calcaires d'eau douce assez compactes, parfois marno-compactes et associés à des marnes, se formulent parfois en configurations assez vigoureuses, mais de peu de puissance; les gris écrus et lilacés y dominent.

De tous ces terrains ce sont les massifs portlando-corallien et oolitique qui jouent dans les reliefs le rôle principal et déterminent les accidents les plus hardis, tandis que les massifs oxfordien et liaso-keupérien correspondent presque toujours aux dépressions encaissées. Le néocomien forme des zones de revêtement plus ou moins élevées au pied des reliefs jurassiques, sauf dans le passage aux Alpes dauphinoises, où il acquiert une importance capitale. Le molassique joue un rôle accessoire analogue. Le sidérolitique colore çà et là en rouge les superficies portlandiennes, le nagelfluh jurassique ensable ces mêmes surfaces de loin en loin.

Ajoutons enfin que des nappes de limons plus modernes, étendues çà et là avec plus ou moins de puissance, déguisent fréquemment les terrains plus anciens, surtout en dehors des grands reliefs, sans ajouter un élément qu'il soit nécessaire de prendre en considération au point de vue des grandes structures orographiques.

Tous ces massifs, depuis le grès bigarré jusques et y compris le molassique, montrent entre eux, sur tous les points du Jura proprement dit, une constante concordance de

stratification. Les affirmations contraires, émises à diverses époques relativement au néocomien ou au molassique eu égard au portlandien, nous paraissent totalement dénuées de fondement. Elles reposaient sur des illusions produites par des faits soit d'ablation, soit de dislocation mal compris [1]. Nous croyons que tous les observateurs jurassiens sont maintenant d'accord à cet égard. Quant à nous, après vingt ans d'examen, nous ne pourrions signaler un seul fait de stratification transgressive appartenant à l'échelle orographique. Quelques roches présentent, il est vrai, des traits de structure qui peuvent être comptés pour transgressifs, mais ils sont de petite échelle, pétrographiques et non orographiques. Bien qu'ils aient pu devoir leur origine à des oscillations du sol, celles-ci ne correspondent ni à des dislocations importantes, ni à des modifications zoologiques dans les terrains. Nous examinerons ailleurs les principaux cas de structure qui ont occasionné des erreurs à ce sujet.

§ 3. *Leurs puissances.*

Les puissances de ces divers massifs, bien qu'assez constantes et même parfois étonnamment dans un petit rayon, varient beaucoup à de grandes distances. Aussi, soit par cette raison, soit à cause des difficultés et par conséquent des erreurs que présentent ces évaluations, est-il impossible de mettre d'accord sur ce point les chiffres des divers géologues jurassiens. En général, si nous en croyons notre expérience personnelle, ils ont été le plus souvent estimés trop bas. Il peut se faire ensuite que certaines puissances soient réellement quelque peu différentes dans les terrains horizontaux de ce qu'elles sont dans les masses disloquées, comprimées, refoulées. Cependant, comme il est utile de se faire une évaluation approximative à cet égard, voici quelques faits généraux auxquels on peut se tenir sans trop d'erreur · nous ne parlerons ici que de la série comptée du conchylien au portlandien, y compris ces terrains.

D'abord, la puissance habituelle de cette série n'est jamais moindre que 500 mètres, et elle en atteint très-souvent 900, chiffre qui encore ne paraît pas être le maximum. La somme des plus petites données fournies par les géologues jurassiens est d'environ 550 mètres, et celle des plus grandes de 990. — Quand, dans la région rhénane argo-

1. De ce nombre est notre propre affirmation de stratification transgressive entre le portlandien et le corallien, affirmation émise en 1832 dans l'*Essai sur les soulèvements jurassiques;* il y a bien longtemps que nous sommes revenu de notre erreur à cet égard.

vienne, on s'élève de la plaine du Rhin sur les plateaux conchyliens, on passe d'une moyenne de 300 à une autre de 450 mètres d'altitude; de là, sur les plateaux coralliens on monte jusqu'à 700 m. : différence 400 m., à laquelle il faut ajouter la majeure partie du portlandien qui y manque. — De même, dans le Jura français, en s'élevant du pied de la grande falaise occidentale (c'est-à-dire du lias supérieur, à peu près) sur les plateaux oolitiques, puis coralliens, on passe successivement de 300 à 500, puis 650 mètres : différence 350 m., à laquelle il faut ajouter au moins 200 mètres de liasique, keupérien et conchylien, puis 100 mètres de portlandien, ce qui, addition faite, fournit 650 mètres. — Ce chiffre, ainsi que le précédent, est certainement fort inférieur à la réalité, vu l'évaluation trop faible des groupes supérieurs. Ainsi, dans le Jura bernois, le portlandien et le corallien seuls ont une puissance de 250 mètres environ, et ils en ont davantage à Besançon. A Moutier-Grandval, dans les gorges de ce nom, l'observateur voit à découvert au-dessus de lui une épaisseur de couches coralliennes et portlandiennes qui certainement dépasse 300 mètres. Il en est de même dans beaucoup d'autres défilés de ce genre, sur beaucoup de points des côtes du Doubs, de l'Ain, de l'Albarine, où partout on reconnaît des puissances bien supérieures à celles qu'accusent les auteurs. — Bref, il en résulte qu'on peut sans exagération envisager le chiffre de 700 à 800 mètres comme beaucoup plus près de la vérité que celui de 5 à 600, et s'y arrêter comme au résultat le plus probable. — Le résultat est encore confirmé par l'épaisseur des mêmes terrains dans l'Albe où, par exemple, entre le pied de la falaise de Reutlingen et le plateau, il y a 450 à 500 mètres de différence représentant la puissance des groupes liasique, oolitique, oxfordien et corallien, chiffre qui, complété par le keupérien, le conchylien et le portlandien, ne donnera pas moins de 7 à 800 mètres.

En marchant du nord vers le sud, depuis les lisières des Vosges et de la Forêt-Noire vers les hautes chaînes jurassiques et le bassin suisse, on s'éloigne d'un ancien rivage pour se rapprocher de régions plus pélagiques. De façon que, d'une part, dans ce sens les terrains augmentent assez sensiblement de puissance, et que d'un autre côté la base conchylienne présumée, sur laquelle on peut les envisager comme reposant, va en s'abaissant d'altitude. Il y a, sans doute, des exceptions à ceci, exceptions dépendantes des reliefs préexistants du fond des mers triasiques et postérieures; mais cela paraît vrai en général. Ainsi les mêmes massifs seraient moins puissants, par exemple, dans

les plateaux bâlois ou montbéliardais, qu'ils ne le sont dans les chaînes du Weissenstein, du Chasseron, de la Dôle, etc. Toutefois, il m'est impossible de rien dire d'exact sur ces différences, qui tantôt paraissent très-fortes, tantôt semblent à peine appréciables.

La base conchylienne du massif que nous envisageons est donc, indépendamment des dislocations, située à un niveau plus élevé dans le nord que dans le sud du Jura. Ainsi, le long des plateaux argoviens et montbéliardais, elle est au-dessus du niveau de la mer d'environ 200 mètres, tandis qu'à la lisière occidentale, au pied de la grande falaise, elle doit se rapprocher de ce niveau et descendre au-dessous de plus de 200 mètres le long du pied des hautes chaînes. Si dans le premier de ces cas on fait l'hypothèse d'un redressement de 45° appliqué à un massif de 1000 mètres de largeur (largeur moyenne d'un flanquement de chaîne jurassique), puissant de 700 mètres, il est facile de reconnaître graphiquement que le massif conchylien doit, dans ce mouvement, atteindre au plus une altitude de 7 à 800 mètres, laquelle est en effet le maximum des sommités conchyliennes d'Argovie. Si l'on applique la même supposition au troisième cas, en admettant une puissance de 1000 mètres, on arrive à des niveaux de 15 à 1600 mètres, qui sont en effet ceux des plus hautes chaînes. Cette évaluation, toute grossière qu'elle est, fait voir cependant que l'hypothèse de 700 à 1000 mètres de puissance, combinée avec celles des altitudes de + 200 et — 200 mètres présumées pour la base conchylienne, cadrent avec les faits ou du moins ne les dépassent ni en trop, ni en trop peu.

Quant à la puissance du néocomien dans le Jura, elle est excessivement variable. Dans l'intérieur du système où il est le plus souvent incomplet, soit originairement, soit par ablation, il atteint cependant souvent 30, 50 et même 70 mètres. Sur les lisières de la chaîne, où il est plus entier, on le voit arriver à 80 et 100 mètres. Il en est à peu près de même dans les chaînes méridionales, où il montre ses divisions supérieures surmontées encore de l'un ou l'autre des étages crétacés suivants. Enfin, sur quelques points, il atteint (y compris ces derniers) un développement beaucoup plus considérable. En moyenne, dans son rôle orographique particulier, il ne dépasse guère 100 mètres et reste très-souvent bien au-dessous de 50. Là où les marnes inférieures sont développées, elles mesurent au plus, y compris leur encadrement

marno-compacte, une trentaine de mètres. — Ajoutons que ce qui précède est relatif au Jura proprement dit jusqu'aux chaînes de la Chartreuse et du Grenier, où les terrains crétacés prennent un développement beaucoup plus fort et une importance orographique toute spéciale.

Du reste, si nous ne connaissons rien de plus positif quant à la puissance réelle de nos massifs, nous savons mieux du moins quelles en sont les proportions relatives. Le plus puissant est le conchylien; puis vient, de près, l'ensemble portlando-corallien; ensuite le liaso-keupérien; puis l'oolitique sensiblement plus faible; enfin l'oxfordien. Ces diverses puissances pourraient être à peu près représentées par les chiffres suivants: conchylien 5, portlando-corallien 4.90, liaso-keupérien 4.50, oolitique 3, oxfordien 2. Toutefois, ici encore, il ne s'agit que d'une grande généralité.

§ 4. *Les modifications diverses qu'ils ont éprouvées.*

Tous ces terrains sont sédimentaires et, en général, ont été, comme tels, déposés horizontalement. Postérieurement à leur déposition, ils ont subi une foule de changements chimiques et mécaniques, qui les ont amenés à l'état actuel. — Depuis leur origine, ils ont passé par une série de modifications dépendantes de leur composition chimique dans une certaine mesure de métamorphisme; néanmoins, nulle part ils ne paraissent avoir éprouvé, sur une échelle quelque peu considérable et au contact d'agents ignés, le genre d'altérations profondes qui ont été particulièrement qualifiées de métamorphiques. — Les modifications dans lesquelles l'action mécanique a joué le rôle prépondérant sont surtout de deux espèces. Les unes sont des morcellements plus ou moins réguliers, plus particulièrement inhérents au jeu des forces physiques internes, propres à leur étoffe sédimentaire sans le concours essentiel de mouvements destructeurs de l'horizontalité. Les autres sont de véritables dislocations par déplacement, rupture et ploiement, essentiellement occasionnées par l'intervention de forces étrangères aux masses et qui ont donné naissance à des reliefs et des dépressions diversement agencés, c'est-à-dire à un système de montagnes. Les premières sont donc plus particulièrement pétrographiques, les secondes orographiques; c'est à leur examen que ce travail est spécialement consacré.

PREMIÈRE PARTIE.

DU PÉLOMORPHISME DANS LES MASSES JURASSIQUES.

CHAPITRE I.

PÉLOMORPHISME ET LITHOMORPHISME; ÉTOFFES DES ROCHES JURASSIQUES; LEURS DIVERSITÉS.

§ 5. *Coup-d'œil préliminaire.*

Tous les terrains énumérés au chapitre précédent, sont d'origine sédimentaire. Ce sont des sédiments, des vases plus ou moins pures, plus ou moins chargées de sable, de débris organiques, déposés au fond de la mer, puis consolidés par dessication ou autrement. Chacun d'eux a donc existé originairement à l'état de mollesse sédimentaire, lequel a duré plus ou moins longtemps et passé par les intermédiaires jusqu'à la rigidité pierreuse. Durant cet état, le jeu des affinités chimiques a dû s'exercer de bien des manières dans leur intérieur, produisant des groupements moléculaires variés, qui ont pu, tout en modifiant l'étoffe principale, donner naissance à une foule de faits minéralogiques disséminés en elle.

Toutes sortes de causes de mouvements, soit locaux, soit séismiques, de plus ou moins grande échelle, ont également, durant cet état, produit dans les masses une multitude d'accidents de froissement, de déplacement, de tassement, de rupture en petit ou en grand, qui ont laissé d'innombrables traces de leur action, affectant toutes l'une ou l'autre des formes qu'une substance pourvue du caractère de ductilité pâteuse présente dans ses limites naturelles et dans ses solutions de continuité, maintenues ou reformées avec frottement et compression. De là, à l'intérieur des massifs actuels,

dans une foule de situations, des modelages, des surfaces esquilleuses de rupture ou de décollement, des cannelures de frottement et de glissement, des aplatissements par compression, etc., tous accidents qui, envisagés avec soin, montrent constamment l'épreuve et la contre-épreuve dans des rapports instructifs.

Enfin, toujours durant cet état de mollesse, décroissant avec le temps par tendance à la siccité ou à une consolidation quelconque, pouvaient s'établir de nombreuses solutions de continuité par retrait ou autre facteur analogue, qui apportaient aux massifs un morcellement de plus ou moins grande échelle; ces agents, dont la nature est encore si peu connue, créaient dans les roches une sorte de clivage en grand et les divisaient en solides isolés les uns des autres par des fissures, lesquelles jouèrent nécessairement un rôle dans les facilités fournies aux dislocations postérieures.

Si tous ces faits de détail de l'histoire sédimentaire de nos roches ne nous offraient que le genre d'intérêt qu'ils ont par eux-mêmes, nous pourrions nous passer de leur étude, comme on l'a fait jusqu'à ce jour. Mais il n'en est pas ainsi. Il arrivera un moment, dans la suite des idées orographiques que nous nous proposons de dérouler, où il sera important de savoir si, à l'époque des grandes dislocations, les agents dynamiques s'exerçaient sur des masses encore pourvues de la mollesse sédimentaire ou sur des masses déjà solidifiées, ou peut-être enfin (comme on l'a prétendu), sur des masses ramollies après solidification. Or, c'est seulement dans la connaissance détaillée des faits de structure sédimentaire que nous trouverons les moyens de répondre à cette question. Nous devons donc, dès à présent, étudier ces faits, ou du moins, faire connaître les résultats auxquels nous sommes arrivés à cet égard. — Quoique nous ayons compulsé une assez vaste littérature géologique, nous n'y avons trouvé nulle part le genre de recherches que nous allons exposer, et nous le croyons à peu près neuf. C'est même ce qui nous a forcé de créer plusieurs expressions nouvelles, pour représenter des circonstances de structure négligées jusqu'à ce jour et dont la prise en considération est cependant indispensable dans cette étude.

§ 6. *État pélomorphique et lithomorphique.*

Une expression nous est d'abord nécessaire pour représenter en un seul mot cet état de mollesse sédimentaire, cette consistance pâteuse des vases plus ou moins

pures, quelle que soit du reste leur composition chimique ou mécanique et leur mélange avec des corps déjà solides; vases ou substances analogues qui ont fait l'étoffe essentielle des roches jurassiques. A chaque instant, pour éviter des longueurs, des circonlocutions et des obscurités, nous aurons besoin d'une désignation de ce genre susceptible d'être substantivée ou adjectivée : à cet effet, nous nommerons ***pélomorphisme***[1] l'état de mollesse sédimentaire; nous qualifierons de ***pélomorphiques*** les caractères qui s'y rapportent; enfin, nous donnerons le nom de ***pélomorphoses*** aux diverses accidentations plastiques de l'étoffe pélomorphique.

Il est évident que cette manière d'être des roches depuis l'origine du dépôt jusqu'à solidification et siccité parfaites, ou plutôt telles que nous les voyons actuellement, a pu offrir une multitude de degrés de pélomorphisme que l'on peut se représenter comme dépendant essentiellement des proportions de leur imbibition par le liquide quelconque, à qui ils devaient de participer à l'état de fluidité. Quel était ce liquide? C'est ce que, absolument partout, nous ignorons. Cependant il est infiniment probable que c'était l'eau marine, sans rien préjuger, du reste, sur les éléments chimiques ou mécaniques qui la modifiaient comme le font leurs analogues dans les eaux actuelles[2]. L'étoffe, au moment de la sédimentation, offrait donc un certain degré d'*hydration*, lequel était probablement un maximum, puis qui est allé en diminuant, pour arriver au degré actuel, qui est un minimum relatif et qu'on peut qualifier d'*anhydration*. Il va sans dire que ces deux expressions, qui nous sont fort nécessaires, nous les entendons dans un sens purement mécanique et non dans celui de combinaison, attribué à leurs correspondants chimiques, sans nous préoccuper de ce que l'hydration a pu faire naître de combinaisons *hydratées* de nature à la diminuer. En résumé, nous dirons donc que *les aptitudes dépendantes de la mollesse des dépôts sédimentaires ont varié, en diminuant depuis l'hydration jusqu'à l'anhydration*.

Il y a donc, idéalement parlant, au pélomorphisme deux limites extrêmes, dont l'une est l'état le plus fluide, l'autre le plus éloigné de cette fluidité, le plus privé de liquide, le plus solide, le plus sec, c'est-à-dire, la manière d'être pierreuse actuelle, que nous nommerons *lithomorphisme*[3], en qualifiant de *lithomorphiques* les caractères

1. De πηλος, vase, sédiment, humide et mol.
2. Nous reviendrons sur ce sujet § 24.
3. Λιθος, pierre.

qui y ont trait, et *lithomorphoses* les accidentations propres à l'état lithomorphique.

Ainsi, en considérant nos roches sédimentaires, nous les envisageons comme naissant à l'état pélomorphique, comme en jouissant, si l'on veut, sans modification, durant un terme quelconque, comme s'en éloignant ensuite plus ou moins graduellement par solidification jusqu'à la limite extrême de rigidité pierreuse ou de lithomorphisme accusée par leur état actuel, ces diverses périodes pouvant être, du reste, aussi grandes ou aussi petites que l'on voudra.

Si ce qu'il y a dans ces définitions d'impliquant, tacitement et par anticipation, une certaine durée de l'état pélomorphique, répugnait à quelque lecteur préoccupé de l'idée d'une solidification immédiate des dépôts sédimentaires, nous le prions de suspendre son jugement : il trouvera plus loin de nombreuses preuves de cette durée, sans préjudice à l'admission de cas exceptionnels.

§ 7. *Etoffe vaseuse*[1].

Ce serait ici le lieu de chercher à nous faire une idée quelque peu exacte de ce qu'étaient ces précipités sédimentaires, cette étoffe pélomorphique ; mais nous avouons n'avoir aucune lumière positive à apporter sur ce point. Nous désignons, comme tous les géologues, sous le nom de *vase,* cette base de nos roches compactes non clastiques, parce que, en effet, nous la croyons semblable aux vases des mers actuelles, sinon en égard à toutes leurs origines et propriétés physiques et chimiques, du moins relativement au mode de dépôt et à l'habitat des êtres organisés, qui y ont évidemment rempli autrefois le même rôle zoostatique que leurs analogues jouent maintenant.

Ce sont les calcaires compactes à pâte fine, à cassure lisse et conchoïde, calcaires très-communs dans le Jura, qui représentent ces dépôts vaseux dans leur plus grande pureté et qui peuvent servir de type à cet égard, bien que, sans changement de rôle essentiel, ils se montrent en outre sous une multitude d'autres aspects. Dans une foule de roches, ils sont accidentés par le mélange de parties concrétionnées, cristallines, clastiques, qui, parfois, finissent par prédominer. Néanmoins, au point de vue général,

1. Remarquons encore que nous employons cette expression faute d'autres, et sans que l'admission ou le rejet de ces analogies avec les vases actuelles soit d'aucune conséquence sur tout ce qui va suivre, tout roulant sur les propriétés pélomorphiques de l'étoffe sédimentaire, quelle que soit, du reste, son origine réelle.

l'étoffe vaseuse joue le premier rôle comme ayant concouru à la formation de presque tous les dépôts.

Bien que nous ne connaissions cette étoffe vaseuse que par les produits de sa consolidation, nous pouvons néanmoins nous faire une idée de plusieurs de ses propriétés mécaniques les plus importantes. En l'envisageant dans les calcaires compactes, conchoïdes, lisses les plus homogènes, et en prenant en considération les accidents pélomorphiques qu'ils nous présentent, nous sommes forcément conduits à reconnaître et à admettre quelques-uns des caractères physiques de cette étoffe dans le cas de sa plus grande pureté, cas que l'on peut prendre pour type.

Le premier de ces caractères est une excessive division du précipité par la sédimentation, d'où résulte une ténuité de parties qui rend celles-ci absolument imperceptibles à nos observations comme individus moléculaires; en d'autres termes, c'est une finesse de pâte, dont le mode d'agrégation ou les éléments de texture échappent totalement, comme cela se voit dans les argiles les plus pures et les plus déliées et dans les masses gélatineuses inorganiques.

Un second caractère, c'est la parfaite ductilité et plasticité de cette étoffe une fois arrivée à un degré d'hydration convenable, ou autrement sa parfaite aptitude à percevoir du contact d'un corps extérieur des empreintes persistantes.

Un troisième caractère, qui n'est point, en réalité, autre que le précédent, mais qu'il importe de signaler à part, c'est la facilité avec laquelle, à une empreinte produite, a pu en succéder une autre faisant entièrement disparaître la première, ou la modifiant.

Un quatrième, fort important à envisager, c'est la facile mobilité de la masse pélomorphique, soumise à toute commotion, tendant à lui imprimer un ébranlement dans un sens quelconque, horizontal par exemple, moyennant des vacuités latérales, qui permettent une certaine quantité de mouvement, et ce, tout-à-fait à la façon d'une gelée tremblante.

Un cinquième caractère, qui est la conséquence du précédent, c'est la tendance au retour d'une semblable masse ébranlée à sa position originaire, moyennant qu'il n'y ait pas eu dilacération intérieure.

Un sixième, également très-important, c'est la tendance et la facilité de l'étoffe

pélomorphique à se briser à la moindre commotion, et, comme cela se voit dans une substance gélatineuse, suivant des fissures plus ou moins droites, pouvant être remarquablement placées, remarquablement rapprochées, à parois d'autant plus lisses que la pâte est plus fine, le tout sur une échelle grande ou petite ; puis, comme conséquence, la réagglutination immédiate des parois de ces brisures avec concordance ou avec des discordances plus ou moins fortes, mais le plus souvent faibles.

Un septième caractère consiste dans l'aptitude à éprouver des retraits par l'anhydration, retraits donnant naissance à des fissures qui, toutes choses égales d'ailleurs, doivent obéir à quelque loi d'autant plus régulière, que l'étoffe est plus homogène.

Un huitième, c'est que les parois de ces fissures de retrait doivent être, comme cela se voit dans toutes les substances pélomorphiques qui marchent plus ou moins rapidement à l'anhydration, la présence d'aspérités, d'arrachures symétriques d'autant plus grandes que le retrait se fait sur une plus grande échelle, d'autant plus petites qu'il s'opère sur une moindre, et ce, jusqu'à la ténuité microscopique.

Un neuvième caractère, c'est que, à un certain degré d'hydration, toute compression a dû épurer l'étoffe d'une certaine quantité du liquide quelconque qui faisait une partie de son volume et le faire transsuder par les surfaces libres, tout comme cela se passe en pareil cas dans toute substance pélomorphique pénétrée d'eau et comprimée.

Un dixième, c'est qu'à la suite d'une compression de ce genre, et en ne tenant plus compte du liquide exprimé, il y a eu nécessairement réduction de volume.

Un onzième caractère, c'est que, si le cas s'est présenté que cette étoffe, comprimée contre un plan résistant, a trouvé à celui-ci un orifice, elle a dû jaillir par ce trou de filière selon une configuration plastique déterminée par sa circonférence.

Un douzième caractère, c'est que, sous l'action d'une compression de l'étoffe pélomorphique, les corps lithomorphes fragiles disséminés dans son intérieur ont pu être brisés et défigurés par aplatissement.

Un dernier caractère, enfin, c'est qu'en envisageant une masse pélomorphique, limitée par des plans et reposant sur une base, on conçoit qu'elle a pu être déjetée sur cette base par une poussée latérale et fléchie par une compression verticale.

Ces propriétés sont évidemment propres à toutes les substances pélomorphiques homogènes et fines à un certain degré d'hydration. Toutes sont révélées d'une manière

irréfragable dans les calcaires jurassiques compactes, par les pélomorphoses mêmes qu'elles y ont laissées, non pas çà et là, mais habituellement, partout, par millions et milliards d'exemples, de telle façon qu'il serait impossible de recueillir un décimètre cube de calcaire compacte naturellement limité, qui ne révélât l'une ou l'autre d'entre elles et presque toujours plusieurs à la fois.

Bien que toutes les propriétés précédentes soient communes à l'étoffe type que nous avons envisagée, rien n'empêche cependant qu'elles y aient eu lieu à des degrés divers, provenant des différences d'aptitude à l'hydration. Certaines étoffes ont pu retenir plus d'eau que d'autres sous le même volume de roche, et par cela seul présenter, quant au degré de plasticité, quant à la rapidité de marche vers l'anhydration, le retrait, etc., des caractères plus ou moins prononcés.

§ 8. *Hydraulicité possible.*

Nous verrons plus tard que dans une multitude, presque certainement dans la très-grande majeure partie des roches jurassiques, l'état pélomorphique a duré fort longtemps. Nous devons néanmoins réserver préalablement qu'il y a eu peut-être de grandes différences à cet égard par suite des diversités de composition et de leurs conséquences, soit comme facilitant la formation d'hydrates solides, soit comme facteur de l'hydraulicité. Si l'on soumet un ciment hydraulique depuis longtemps consolidé aux mêmes procédés que l'on applique aux matières premières pour la confection des chaux durcissantes sous l'eau, on réobtient un produit pourvu d'hydraulicité. Ainsi, réciproquement, nous pouvons penser que celles de nos roches qui, actuellement, donnent lieu à des étoffes hydrauliques, ont elles-mêmes, lors de leur état pélomorphique, joui de propriétés analogues. Dès-lors, ces sortes de roches auraient évidemment atteint avec une rapidité particulière le caractère lithomorphique. — Mais, sans tenir précisément à se baser sur le raisonnement précédent, il est entièrement raisonnable d'admettre qu'à l'égard de la durée du pélomorphisme, il a pu y avoir, dans les étoffes sédimentaires les plus pures, et indépendamment de tout mélange de corps solides, déjà diversité de durée pélomorphique.

§ 9. *Corps lithomorphes empâtés ou développés dans l'étoffe pélomorphe.*

Moyennant qu'on ne réduise pas à zéro la durée du pélomorphisme des étoffes de nos

roches, il est clair que, soit à mesure, soit durant leur dépôt, elles ont pu envelopper des corps déjà solides, ou en voir se former dans leur intérieur avant leur propre solidification. Ces corps lithomorphes qui accidentent presque partout l'étoffe sédimentaire de nos roches, sont les suivants :

1° *Corps lithomorphes empâtés durant le dépôt ;* ils sont particulièrement de trois espèces :

a) Les concrétions. Nul doute que des concrétions se sont formées et immédiatement solidifiées dans les eaux et dans l'intérieur des dépôts pélomorphes, à mesure que ces derniers se déposaient. Contentons-nous de signaler ici les oolites, dont le rôle est si important. Ce sont essentiellement des concrétions globuleuses, concentriques, développées dans une eau lapidescente, autour d'un petit noyau central lithomorphe quelconque, tenu en suspension par le mouvement du liquide dû, soit au jaillissement naturel par reprise du niveau, soit à des émissions gazeuses, comme on le voit encore dans certaines eaux thermales actuelles. Elles sont ou calcaires ou ferrugineuses, de diverses tailles, pisaires, cannebines, milliaires, etc. Pour nous, les pisolites de Carlsbad, celles du sidérolitique, etc., ne sont autre chose que des oolites pisaires. — Inutile d'ajouter qu'il existe une foule d'autres concrétions de rôle analogue à notre point de vue. — Dans ces divers cas, l'étoffe pélomorphique varie de prédominante à presque nulle, et se trouve remplacée par une étoffe cristalline presque entièrement lithomorphe elle-même. Dès-lors, théoriquement parlant, la masse de la roche a dû, soit prendre immédiatement l'état lithomorphe, soit s'en rapprocher rapidement. Cependant, même dans ces sortes de cas, l'on rencontre presque toujours des preuves d'une certaine durée pélomorphique.

b) Les débris de test (minéralisés plus tard), de mollusques, radiaires, etc., *réduits à l'état de sable* plus ou moins trituré par le flot, souvent de très-petit volume, un peu arrondis, de façon qu'au premier aspect les petits grains distribués en amas de même format ressemblent à des oolites, bien qu'ils en diffèrent essentiellement par l'absence de structure concentrique. Ces sables ont joué, comme ils jouent encore dans les plages et bas-fonds, un rôle considérable, et contribué à former des assises fort étendues dans plusieurs étages jurassiques. Ce sont ces sables que les anciens minéralogistes séparaient déjà des oolites sous le nom d'*ammites*. Souvent ils sont liés par un ciment spathique, c'est-à-dire lithomorphe; mais, le plus souvent aussi,

l'étoffe vaseuse s'y montre suffisamment pour que la masse révèle des faits de durée pélomorphique.

c) Les sables proprement dits, c'est-à-dire provenant de roches pré-existantes calcaires, ou le plus souvent quartzeuses. Bien qu'au premier coup-d'œil ils ne paraissent pas occuper, dans les terrains jurassiques, une place bien considérable, ils ne laissent pas d'y figurer. Ce sont surtout des poussières siliceuses très-fines, de grain à peine discernable, et liées par un ciment calcaire, qui entrent dans la composition d'un certain nombre de marnes et d'assises d'aspect dolomitique, dont quelques variétés sont employées comme pierres à repasser : tels sont les calcaires gréseux de la base de l'astartien, ceux de la base de l'oolitique, etc. Çà et là, on y observe des paillettes de mica, et très-rarement des traces d'autres minéraux à l'état clastique. La durée du pélomorphisme s'y révèle également, mais plus faiblement; ce qui appuie l'idée d'une solidification plus rapidement obtenue.

d) Les tests, minéralisés plus tard, *des fossiles* de diverses classes, plus ou moins complètement conservés : souvent la même espèce ou un petit nombre d'espèces, groupées socialement par milliers, forment des bancs entiers liés par un ciment vaseux ou spathique, auxquels on donne plus particulièrement le nom de *lumachelles.*

e) Les galets, formant plus ou moins *poudingue,* et les *blocs,* constituant plus ou moins *brèche* au milieu de l'étoffe sédimentaire, et appartenant presque toujours à des roches jurassiques : peu communs dans nos divers étages, et ne paraissant partout que sur des points de peu d'étendue, comme faits locaux, et non comme horizon soutenu.

2° *Corps lithomorphes développés postérieurement au dépôt et durant la mollesse sédimentaire.* Ce sont principalement les suivants .

a) Les filets, veines, nids, géodes et plaques de *chaux carbonatée cristallisée :* ils sont très-nombreux et ont évidemment pris l'état solide immédiatement à leur formation, avant la solidification de la base pélomorphe.

b) Les veinules et géodes de *quartz cristallisé.* Généralement rares, excepté dans les étages à fossiles silicifiés. Je ne parle pas ici de la silice gélatineuse, dont je ne saurais apprécier le rôle au point de vue qui nous occupe.

c) Les veines, nids, géodes, cristaux isolés de *fer* sulfuré, hydroxydé, etc., à l'état plus ou moins *cristallin*.

d) Divers *groupements veiniformes* siliceux, argileux, ferrugineux, nés à l'intérieur des masses pélomorphiques du jeu des affinités, et qui probablement étaient solidifiés que l'étoffe ambiante ne l'était pas encore.

e) Enfin, les *tests de fossiles* transformés en calcaires, silice, sulfure de fer, silicate de fer, etc., dont nous avons déjà dû parler plus haut pour les signaler à leur état lithomorphe non encore minéralisé.

§ 10. *Diversité des faits de plastique et de durée pélomorphique, selon les cas.*

Cela posé, si nousenvisag eons des masses pélomorphiques sollicitées par des agents capables de les ébranler, ployer, disloquer, rompre, refouler, comprimer, froisser, il en résultera évidemment des formes plastiques, des pélomorphoses très-diverses, dont l'étude peut faire remonter avec plus ou moins de facilité à l'intelligence des mouvements relatifs qui y ont donné naissance.

Si, après cela, on considère nos diverses roches au point de vue de leur composition sédimentaire, plus ou moins purement pélomorphe, ou pourvue d'hydraulicité, ou chargée de corps durs, on se rendra compte : 1° que les faits de plasticité pélomorphique doivent être les plus nombreux et les mieux observables dans les roches les plus exclusivement vaseuses, et l'être d'autant moins que l'élément immédiatement lithomorphe aura plus dominé dans leur masse ; 2° que la durée d'un état pélomorphique bien accusé a pu varier dans ces diverses roches, et partant, que le terme final de la consolidation lithomorphique a pu être plus rapproché chez les uns que chez les autres.

Si, ensuite, nous envisageons l'application du même agent dynamique dans le même temps à des roches différemment pourvues de la propriété pélomorphique, nous pourrons nous attendre à les voir présenter des effets de dislocation et de plastique divers.

Enfin, si au lieu de considérer une masse pélomorphe dans un moment donné et quant à ses conditions internes de tendance au lithomorphisme, nous prenons cette masse à des dates différentes de sa marche vers la solidification, nous reconnaîtrons

gine sableuse : elles ont, sans doute, pu percevoir certaines empreintes et, moyennant solidification suffisante, les conserver, mais, en général, leur constitution est essentiellement anti-plastique.

Ainsi, les mêmes phénomènes ont dû formuler différemment les mêmes faits dans ces diverses étoffes : cependant on en retrouvera toujours quelques traces.

En conséquence, pour étudier les faits de pélomorphisme qui sont particulièrement révélés par la plasticité, on préfèrera les calcaires compactes de toute espèce, en évitant les plus cristallins et les plus hydrauliques. Ensuite viendront les calcaires d'autres textures, sans ou avec corps lithomorphes, mais solides et d'agrégation non terreuse. Puis, on éliminera les marnes et argiles. Enfin, on ne s'adressera qu'en dernier lieu aux grès de tout genre.

Nous avons aimé à diriger *à priori* l'esprit du lecteur vers les conclusions de ces deux derniers paragraphes, que l'examen des faits de plasticité pélomorphique prouve complètement *à posteriori*.



autre tranchée, vu que les ouvriers ont soin d'y profiter des divisions préexistantes dans les massifs. Enfin, il est fort important que ces carrières soient aussi grandes que possible, afin que les traits de structure s'y montrent sur une étendue suffisante. *Nous engageons beaucoup le lecteur à ne pas perdre de vue ces recommandations dans la vérification pratique des faits que nous allons exposer.*

§ 13. *Epiclives, hypoclives et diaclives.*

Toute face qui délimite une couche sédimentaire ne peut être que l'un de ses joints de stratification, ou bien une paroi latérale également naturelle comme limite de fissure, se répétant habituellement dans un ordre déterminé, ou bien enfin une solution de continuité anormale, c'est-à-dire n'offrant dans sa manière d'être aucun caractère constant, aucun retour prévu, aucun rapport essentiel avec le mode de morcellement habituel de la couche. Comme c'est particulièrement à la superficie des joints et fissures naturels que se formulent les pélomorphoses, révélation de toutes sortes de mouvements orographiques, et que, partant, nous aurons très-souvent à en parler, nous avons besoin de les représenter par des expressions exactes et nettement définies, qui manquent encore à la nomenclature stratigraphique.

a) Epiclive. Chaque couche, strate ou lit sédimentaire, de quelque puissance ou composition qu'il soit, est terminé par une face inférieure qui repose immédiatement sur la couche précédente, et par une supérieure, sur laquelle repose immédiatement la suivante. Ces deux faces qui, avec leur sous- et superjacente, forment une solution de continuité, qu'on a nommée parfois joint de stratification, correspondent, l'inférieure à l'acte initial du dépôt qui a formé la couche, la supérieure à un temps d'arrêt quelconque dans cet acte. La face supérieure offre presque constamment un caractère ou une nature minéralogique distincte de ceux de l'étoffe de la couche. En outre, elle présente, en général, au point de vue plastique, l'aspect de la superficie tranquille du dépôt sédimentaire à un moment déterminé. Nous la nommerons *face épiclivaire* ou *épiclive.* Ses caractères sont indépendants de ceux de la couche suivante, puisque elle existait avant celle-ci.

b) Hypoclive. La face inférieure est essentiellement de même nature minéralogique que l'étoffe de la couche, dont elle n'est que le commencement; cependant, cet

l'épiclive et l'hypoclive, et pour faces latérales des diaclives; elle peut, en outre, être traversée par des brisures anormales, soit pélomorphes, soit sèches. (Fig. 1.)

§ 14. *Remarques complémentaires relatives à la définition de l'épiclive et de l'hypoclive.*

Entre l'épiclive et l'hypoclive, il y a une différence essentielle. La première a une existence, des formes et une composition minérale propres; la seconde est nécessairement dépendante des faits antérieurs, et, à part cela, n'est que la limite inférieure, abstraite et en quelque sorte mathématique de la couche. L'épiclive limite un *moule;* l'hypoclive limite le *corps moulé* dans celui-ci.

On ne doit pas oublier que les définitions précédentes de l'épiclive et de l'hypoclive s'appliquent à une couche quelconque, quels qu'en soient, du reste, la puissance, la composition et les caractères d'agrégation. Par conséquent, elle regarde aussi bien un strate mince, un intermédiaire marneux, un lit grumeleux, qu'une couche proprement dite.

Dans la pratique technique et même géologique, on ne porte, le plus souvent, son attention que sur les épiclives et les hypoclives, qui terminent des bancs de quelque puissance et surtout de quelque compacité. On regarde ces deux faces, aisément observables, comme le commencement et la fin d'un dépôt représenté par la couche, ce qui emporte plus ou moins vaguement l'idée d'une continuité de l'action déposante entre ces limites.

Cette idée de continuité, en tant qu'elle serait absolue, ou qu'elle impliquerait l'absence d'autres interruptions périodiques, serait généralement fausse. Car, toute couche, même la plus compacte en apparence, est, en réalité, *entre ses épiclive et hypoclive principales,* formée d'une série le plus souvent nombreuse, relativement à sa puissance, d'autres petites couches, lits ou feuillets, offrant chacun, en particulier, une face supérieure et une inférieure, mais présentant, du reste, entre ses *épiclive et hypoclive secondaires* (fig. 2), le caractère de continuité, du moins sans interruption appréciable. Cette structure, que l'on aperçoit aisément dans beaucoup de roches feuilletées, est presque toujours peu ou point observable dans les calcaires compactes où cependant elle existe réellement, comme le montre souvent l'altération météorique. Rappelons seulement que ces épiclives secondaires paraissent correspondre, en effet,

Le plus souvent, dans les calcaires vaseux, les galénies laissent peu de fossiles en relief, ou bien ceux-ci sont déguisés par l'enduit. Dans certaines couches ondulées, des fossiles à test mince, engagés dans l'étoffe et cachés par l'enduit, sont nettement intersectés par la surface épiclivaire, ce qui prouve la part prise au dépôt par les phénomènes du mouvement des eaux. D'autres fois les galénies ne sont que la limite supérieure extrême d'un amas lumachellique ou ammitique, et alors l'enduit y manque le plus souvent.

Nous avons dit que, relativement à l'hypoclive, la forme de l'épiclive est indépendante. Cependant, souvent les épiclives successives transmettent d'une couche à l'autre leurs principaux reliefs, mais en les affaiblissant.

L'épiclive et l'hypoclive surjacentes forment une sorte de tout abstrait, dont nous aurons souvent à parler à propos de plasticité pélomorphique. Comme ce qui s'est passé dans la première est nécessairement moulé par la seconde, nous pourrons faire abstraction de cette dernière dans les considérations roulant sur ce sujet; on saura donc, pour la suite, que lorsque nous parlerons d'un fait épiclivaire, nous comprendrons implicitement les conséquences relatives à l'hypoclive surjacente.

Nous examinerons ailleurs en détail les accidents pélomorphiques des épiclives.

§ 15. *Etude des diaclives.*

a) Leur classification. Il existe plusieurs espèces de diaclives, dont toutefois les limites sont difficiles à établir. Il y en a de *principales,* qui traversent un système de couches tout entier, se montrant, du reste, à tous les autres égards, plus puissamment caractérisées quant à la dimension de leur *vide diaclivaire,* quant aux accidents qui en revêtent les *parois,* quant aux produits minéralogiques de remplissage entre ces dernières, etc. Il y en a ensuite de *secondaires* (fig. 3), qui ne traversent visiblement qu'une couche, s'arrêtant brusquement à la rencontre des suivantes, moins puissamment accusées dans tous leurs accidents de détail, enfin existant, du reste, sans préjudice à des diaclives principales dans leur propre massif, diaclives dont elles semblent seulement subdiviser le réseau dans son intérieur. Dans certaines roches, les portions isolées par les diaclives secondaires sont même encore fort souvent morcelées par d'autres diaclives régulières, *accessoires* de troisième ordre, mais que nous pouvons

de diaclives principales se distinguent habituellement en outre par des différences particulières dans les reliefs plastiques de leurs parois.

Enfin, ce qu'il y a de non moins digne d'attention, c'est que, *sur certaines étendues, les deux diaclives principales,* dont nous venons de parler, *affectent sensiblement,* et en tous cas, en moyenne, *des directions constantes vers un point déterminé de l'horizon.*

Si l'on essaie de constater ce fait, en commençant par l'observation d'une première carrière, on y remarquera bien vite une diaclive principale mieux caractérisée, une autre moins bien accusée, plus ou moins d'équerre à la première, et peut-être des diaclives anormales. Bien que, dans certains cas, ces dernières puissent, au premier abord, dérouter l'observateur, il n'en constatera pas moins ordinairement que, dans les limites de la carrière dont je parle, les masses sont surtout divisées par des diaclives parallèles (ou à très-peu près) à la diaclive principale la mieux accusée et courant toutes vers le même point de l'horizon. S'il lui reste quelque incertitude, il en sortira bientôt par l'observation d'une seconde carrière; en multipliant suffisamment, et boussole en main, ce genre de constatation, il arrivera à se convaincre de l'exactitude du fait que nous avançons plus haut. C'est, du moins, ce qui nous est arrivé sur plusieurs points du Jura [1]. Nous invitons les géologues jurassiens sédentaires à essayer ce genre d'observations dans leur district. Ils remarqueront toutefois que ces déterminations de direction ne sauraient se faire avec une très-grande rigueur, ou que les diaclives sont rarement bien planes; l'important est ici la moyenne des faits, ou plutôt la fixation de leurs limites extrêmes de variation.

Donnons un exemple. Dans 25 carrières environ, portlandiennes et coralliennes, des environs de Porrentruy, la première diaclive principale a varié entre les limites extrêmes N 7 O et N 15 E, la moyenne étant N 8 E. La direction de la seconde diaclive principale a varié entre E 17 N et E 15 S, la moyenne étant E 8 S [2]. Ces chiffres donnent évidemment 90° nonagésimaux pour l'angle moyen des deux directions qui ont,

1. Ces points comprennent particulièrement le Jura central, du pied des Vosges au lac de Bienne, et du grès bigarré au néocomien ; — les caractères ci-dessus s'y montrent particulièrement aisés à observer dans le portlandien, le corallien, l'oolitique et le conchylien.

2. Ces chiffres, sans tenir compte de la déclinaison du lieu. Ces moyennes N 8 E et E 8 S sont obtenues par la totalité des observations.

ils rappellent beaucoup la forme cristalline, que nous venons de mentionner. Cette remarque a déjà été faite par quelques géologues. Cependant, ayant essayé la mesure des angles sur un bon nombre d'exemplaires de ces sortes de fragments, ils n'ont pas supporté la vérification du goniomètre. — Il est naturel, du reste, que des parallélipipèdes, dégénérant plus ou moins en rhomboïdes, éveillent cette illusion. Néanmoins, nous invitons le lecteur à répéter nos expériences à cet égard.

c) Réseau diaclivaire principal. Sur chaque point où elles sont observables, les diaclives principales paraissent le plus souvent traverser la masse totale des roches, mises à découvert. Cependant, le contraire se présente aussi, notamment lorsque ce point montre quelque changement important et brusque dans la nature pétrographique des couches. En général, malgré l'illusion que peut produire l'observation de localités restreintes où la roche n'affleure point d'ordinaire sur une grande puissance, il est certain que les mêmes diaclives ne traversent pas la masse des terrains, c'est-à-dire que, bien qu'on retrouve des diaclives à tous les niveaux de cette masse, celles des niveaux inférieurs ne sont pas les prolongements des plans de celles des niveaux supérieurs. Il y a plus : c'est que tandis que (comme nous l'avons dit plus haut) la première principale traverse un système de couches, la seconde, correspondante d'équerre avec elle, ne traverse souvent qu'une partie du même système ; de façon que, sur une puissance donnée, à une première principale correspondent parfois deux ou trois secondes principales, qui ne sont pas dans le même plan vertical. L'inverse se voit aussi, mais rarement.

Elles sont habituellement assez rapprochées, mais il se présente beaucoup de variété à cet égard. Dans les masses les moins divisées, on les voit distantes au plus d'une dizaine de mètres, rarement davantage, le plus souvent moins. Dans les masses plus généralement divisées, elles sont souvent multipliées.

Lorsqu'elles ne traversent qu'une couche, il est parfois difficile de les distinguer des diaclives accessoires, dont nous parlerons plus loin, bien qu'en réalité elles affectent divers caractères plus particulièrement propres aux principales.

Les vides diaclivaires varient également, mais sans être jamais considérables, lorsqu'ils n'ont pas été accidentellement agrandis par quelque cause orographique, visiblement indépendante de leur origine. Il est rare de les voir atteindre un décimètre,

dans chaque parallélipipède du réseau diaclivaire principal, de faits de même nature, direction et caractère que ceux qui ont produit celui-ci. — Seulement, dans certaines natures de couches, ils sont bien accusés, tandis qu'ils le sont plus obscurément ou plutôt moins rigoureusement dans d'autres.

Tout ce qui s'est passé en grand pour donner naissance à la division diaclivaire principale ou le modifier, a dû se passer plus en petit pour produire et accidenter la division de second ordre. Par conséquent, bien que tout ce qui suivra plus loin roule particulièrement, et afin d'éviter complication, sur le réseau principal, on pourra entièrement l'appliquer au second. La fig. 4 représente une couche avec son réseau secondaire.

e) Des diaclives accessoires. Dans certaines étoffes on a déjà quelque peine à reconnaître clairement les diaclives secondaires : c'est encore bien plus le cas pour les accessoires, pour l'observation desquelles il faut recourir aux roches les plus morcelées. En réalité, lorsqu'elles se distinguent, elles tendent à subdiviser le réseau secondaire en un réseau de troisième ordre à caractères homologues. Cependant l'irrégularité devient ici de plus en plus prédominante et les petites diaclives se confondent plus aisément avec divers autres modes de fissuration, dont nous parlerons plus loin. Toutefois, en général, elles s'en distinguent par les indices de parallélisme avec les autres diaclives, puis par l'accidentation pélomorphique de leurs parois qui, sauf l'échelle de plus en plus petite, est encore la même que celle des diaclives principales et secondaires.

f) Des fissures pélomorphiques irrégulières. (Fig. 6.) Indépendamment des diaclives qui ont, comme nous le verrons plus loin, une origine spéciale, les massifs jurassiques sont souvent traversés en petit ou en grand par des ruptures de l'époque pélomorphique, également pourvues de parois à accidents plastiques, mais qui n'offrent aucun caractère de régularité, quant aux direction, rectitude, angle relatif ou parallélisme de leurs cours. Nous les avons déjà signalées au § 12, sous le nom de fissures anormales ou de cavaliers. Elles se distinguent, en outre, presque toujours par quelque *discordance* de glissement entre les portions divisées, ce qui leur donne un caractère de *crain.* Il y a de ces fissures de toutes dimensions, depuis l'orographique jusqu'au microscopique. Leur position et configuration anormale les fait ordinairement séparer des diaclives

dégels produit à l'intérieur une multitude de solutions tout-à-fait anormes, qui morcellent la roche en fragments où l'on ne reconnaît aucune forme constante, et dont *la superficie n'offre aucun caractère d'accidentation plastique*. On les voit souvent traverser d'une manière indépendante toutes sortes d'autres divisions naturelles des masses. On sait que, par leur chute graduelle, elles forment, au pied des abruptes, certains talus de débris qui finissent par jouer un véritable rôle orographique dont nous reparlerons ailleurs.

i) De l'époque et de l'ordre de succession dans lequel les systèmes diaclivaires ont pris naissance. Comme nous l'avons déjà annoncé, nous verrons plus loin que les parois des diaclives sont pourvues de toutes sortes de reliefs plastiques, dont l'étude démontre que les fissures qu'ils tapissent se sont formées durant l'état pélomorphique des masses.

Ces espaces diaclivaires sont tantôt vides, tantôt plus ou moins complètement occupés par des remplissages de calcaire cristallisé, que tout démontre s'y être développé postérieurement à la formation des diaclives et par la voie de liquides lapidifiques exprimés par compression des couches pélomorphes. Nous étudierons plus tard ces remplissages avec quelque détail.

Mais, ce qu'il est nécessaire de dire dès à présent et ce qu'il y a d'important, c'est que *ces remplissages diaclivaires n'ont jamais eu lieu au moyen de l'étoffe pélomorphique que l'on pourrait supposer fournie par la couche ou les couches suivantes en voie de formation*. — Ceci est une règle entièrement générale, à laquelle nous n'avons jamais vu l'apparence même d'une exception. Et cependant, si le contraire avait eu lieu, rien ne serait plus aisé à observer, puisque les couches consécutives étant très-souvent de composition pétrographique et de formes diverses, des remplissages en provenant feraient presque toujours un contraste frappant.

Il en résulte cette importante conséquence que, *dans aucune couche il ne s'est ouvert de diaclives durant le dépôt de la couche suivante*, et même avant que celle-ci n'ait éprouvé un certain degré de solidification. Car, évidemment, si, durant le dépôt d'une couche, il s'était formé des fissures dans la précédente qui lui sert de lit, les maté-

j) Des vides diaclivaires, de leur volume. Nous avons dit que les parois d'une diaclive, sauf des cas de *recollement* qui ne sont qu'une exception à la règle, offrent entre elles un certain espace qui, tantôt est demeuré vide, tantôt a été rempli par des substances minérales particulières ; il est clair que, dans l'un et dans l'autre cas, la distance entre les deux parois n'en existe pas moins.

Nous avons dit aussi que ces vides diaclivaires sont ordinairement peu considérables ; que rarement ils atteignent un décimètre ; qu'ils se succèdent assez rapprochés et au plus distants de dix en dix mètres ; qu'on peut envisager ces chiffres comme des maximums. En revanche, si l'on prend un centimètre pour vide diaclivaire et un mètre pour distance des diaclives, on pourra presque regarder ces nombres comme des minimum.

Cherchons à nous former une idée de la valeur, en volume, de ces vides diaclivaires dans cette dernière hypothèse.—Envisageons-les d'abord sur un kilomètre en carré et sur une puissance de dix mètres.— Sur un kilomètre il y a mille diaclives et mille vides diaclivaires ; donc, mille centimètres ou dix mètres de vide pour l'une des diaclives principales, et autant pour l'autre d'équerre avec celle-ci : ce qui donne en superficie une base de dix mètres sur dix, et, pour le massif de dix mètres de puissance, un cube de côté pareil, c'est-à-dire mille mètres cubes.— Ainsi, sur un système de couches d'un kilomètre carré, épais de dix mètres, c'est-à-dire, sur dix millions de mètres cubes, la somme moyenne des vides diaclivaires est au moins de mille mètres cubes.— En poursuivant ce calcul sur les mêmes bases, on trouve que le volume d'une lieue carrée de terrain (16 kilomètres carrés), sur cent mètres de puissance, contient 160 mille mètres cubes de vide diaclivaire ; ce qui équivaut à un cube de plus de vingt-cinq mètres de côté, c'est-à-dire au volume de plus de cinquante maisons de grandeur moyenne, dernier chiffre qui s'élève à cinq cents si, sur cette lieue carrée, on envisage une puissance de mille mètres de terrains.

La surface des terrains jurassiques de la chaîne du Jura peut être grossièrement évaluée à au moins douze mille kilomètres carrés (75 lieues sur 10), à chacune desquelles, pour ses mille mètres de terrain, correspond donc un vide déclivaire égal au volume de cinq cents maisons ; ce qui donne, pour la somme totale des vides diacli-

vaires de la chaîne, un volume équivalant à celui de six millions de maisons, c'est-à-dire une centaine de fois autant qu'en compte la ville de Paris, etc.

Si nous avons insisté sur ce calcul un peu puéril, c'était afin de faire voir que ces vides diaclivaires, si exigus en apparence, ne laissent pas de former une somme assez considérable : encore faut-il remarquer que nous n'avons pris en considération que deux diaclives principales, en faisant abstraction des autres, qui certainement augmenteraient encore de beaucoup les chiffres ci-dessus.

Toutefois, il ne faut pas oublier que, quoique ces chiffres roulant sur la somme des vides diaclivaires, en fassent sentir l'importance en tant que totalité, il n'en est pas moins vrai que, comparés aux chiffres correspondants du volume des terrains, ils n'accusent que des proportions minimes, puisque les vides diaclivaires n'enlèvent à chaque mètre cube qu'un dix millième de son volume, c'est-à-dire, moins d'un petit cube qui aurait cinq centimètres de côté.

k) Des parois diaclivaires en général. Comme, pour être clair, nous sommes forcé de traiter successivement des faits que la nature présente synoptiquement, c'est à la section suivante que nous examinerons en détail les caractères plastiques des parois diaclivaires. Mais, pour ne pas ajourner à trop loin certaines conclusions relatives aux diaclives qui font l'objet particulier de la présente section, nous nous voyons conduit à présenter ici une assertion anticipée : c'est que toutes les pélomorphes des parois diaclivaires indiquent que la fissure s'est opérée dans l'étoffe pélomorphique, non pas comme la rupture ordinaire dans une masse ébranlée, mais par la traction déchirante en sens inverse des deux portions d'étoffe actuellement terminées par les parois opposées. Ainsi, tout en consignant ici ce fait qui nous est nécessaire, nous renvoyons à la section suivante le lecteur qui voudrait s'édifier dès ce moment. Inutile, du reste, d'ajouter ici des développements incomplets à ce sujet, dont nous traiterons longuement.

l) Du degré de multiplicité des diverses diaclives et notamment des accessoires. Il varie selon les étoffes, sans que nous puissions clairement reconnaître auxquels de leurs caractères répondent ces variations. Cependant on croit voir : 1° Que les diaclives accessoires sont en général moins nombreuses dans les étoffes les plus denses, les plus tenaces, les plus hydrauliques, puis dans celles qui sont particulièrement

chargées d'éléments clastiques, telles que les oolites et les grès liés par un ciment spathique; 2° qu'au contraire, elles sont plus nombreuses dans les étoffes à texture terreuse, crayeuse ou analogues, de tissu plus lâche et plus fragile. Cependant il y a des exceptions. — C'est aussi là où elles sont le plus fréquentes, qu'elles offrent le moins de régularité.

Il en résulte que *les diaclives sont le plus multipliées et irrégulières dans les étoffes pélomorphiques les plus originairement fluides* et moins hydrauliques, qui ont dû perdre une plus grande quantité d'eau, pour arriver à solidification, en amenant la production de fissures diaclivaires. Ce qui vient à l'appui de cette opinion, c'est que c'est aussi dans les couches les plus morcelées de diaclives accessoires que sont le plus fréquentes les accidentations plastiques qui supposent le plus de fluidité, comme nous le verrons plus tard (§ 23). Toutefois, ici encore il y a des exceptions à cette règle.

m) Des causes du réseau diaclivaire. De tout ce qui précède, il résulte qu'il faut se représenter la masse des terrains du Jura comme fissurée en une multitude de prismes verticaux, séparés entre eux par des espaces isolément petits, mais dont le total est considérable, et limités par des parois pourvues d'aspérités plastiques qui indiquent une séparation mutuelle par traction en sens contraire.

Toute explication de l'origine de cet état de choses doit ainsi rendre compte du caractère moyennement régulier des diaclives, de l'existence des vides diaclivaires, de l'état des parois, et satisfaire aussi à cette condition que le fissurement s'est opéré de bas en haut par systèmes successifs.

Lorsque, dans une masse horizontale originairement continue, qui a été divisée par des fissures verticales, celles-ci offrent, en résultat, des vides plus ou moins considérables, cela ne peut s'être passé que de deux manières. Ou bien la masse s'est allongée d'une quantité égale à la somme des largeurs des fissures; ou bien, la longueur de la masse étant demeurée constante, il y a eu dans toutes ses parties un *retrait* compensateur, la somme des rétrécissements de chaque prisme étant égale à la somme des vides diaclivaires.

Or, la masse des terrains jurassiques s'est-elle allongée pour donner naissance à la multitude des vides diaclivaires? Si elle avait eu lieu, d'après les bases numériques établies plus haut, chaque mètre se serait en moyenne allongé d'un centimètre, c'est-

à-dire, chaque cent kilomètre d'un kilomètre, ou, en d'autres termes, chaque 25 lieues d'une demi-lieue; toute la série des terrains, sur près de mille mètres d'épaisseur, aurait dû éprouver cet allongement! Ce mode d'extension aurait dû subdiviser ces masses en une multitude de fissures, en transmettant ses forces de traction latérales et opposées à travers une première solution de continuité, puis une seconde, puis une troisième, puis un millième et ainsi de suite, d'un premier prisme isolé, à un second, à un troisième, à un millième, et ainsi de suite. Inutile d'insister ici sur ce qu'il y a d'infiniment improbable dans cet allongement et d'absurde dans cette prétendue transmission. Si nous avons parlé de cette hypothèse, c'est afin de ne rien omettre.

Puisque donc la masse des terrains n'a pu s'allonger ainsi, elle est restée invariable: c'est ce qu'indique le bon sens. Dès-lors, la compensation des vides diaclivaires demande un retrait général de l'étoffe des masses. Nous aurions pu admettre cette idée d'emblée comme déjà proposée en géologie, si nous ne tenions à y arriver, non pas comme à une simple hypothèse, mais par l'élimination de toute autre solution, comme à une nécessité.

Cette notion du retrait et cette nécessité de le prendre en considération ainsi mise en évidence, discutons maintenant les causes que l'on peut se proposer comme explication du réseau diaclivaire. Nous n'en connaissons que six : 1° Les trépidations séismiques. — 2° Les grandes dislocations orographiques. — 3° La compression des masses les unes sur les autres. — 4° La cristallisation. — 5° Le retrait par exondation superficielle. — 6° Le retrait par action de la température interne.

1° Les trépidations séismiques, qui n'ont pas détruit l'horizontalité, ne peuvent être la cause des diaclives, parce qu'elles n'expliquent ni la somme des vides diaclivaires, ni l'accidentation des parois par traction opposée, ni la généralité et l'uniformité du réseau, ni sa succession de bas en haut par étages.

2° Les grandes dislocations orographiques, qui ont incliné les massifs, ne peuvent être la cause des diaclives par toutes les mêmes raisons précédentes, et parce que, en outre, la disposition des places diaclivaires n'est en aucun rapport avec les inclinaisons des couches redressées qu'elles traversent perpendiculairement aux épiclives, quel que soit l'angle de celles-ci à l'horizon.

3° La compression des masses les unes sur les autres ne peut être la cause des

diaclives, parce qu'elle n'explique ni la somme des vides diaclivaires, qu'elle a très-souvent, au contraire, tendu à combler, ni la régularité des diaclives, ni leur présence aussi bien dans les massifs supérieurs moins comprimés, que dans les inférieurs plus comprimés.

4° La cristallisation, telle que nous la connaissons, ne peut être la cause des diaclives, parce qu'elle agit sur les trois dimensions d'une étoffe, tandis que la cause des diaclives ne s'est exercée que sur deux, selon des plans à peu près verticaux et rectangulaires; parce que, en outre, au lieu de traverser une succession de couches de compositions hétérogènes, interrompues par la solution épiclivaire, elle aurait exercé son action plutôt dans chaque couche homogène, au sein desquelles la cristallisation a en effet donné naissance à une foule de produits ordinaires, qui ne participent jamais à deux couches consécutives; du reste, elle n'expliquerait pas non plus à elle seule la somme des vides diaclivaires.

5° Le retrait, après exondation superficielle des terrains suivie d'évaporation au contact atmosphérique, ne peut être la cause des diaclives, parce que celles-ci ont pris naissance de bas en haut et par étages; parce que, en outre, le genre de retrait dont nous parlons et qui a eu lieu, produit des résultats tout différents, que nous examinerons ailleurs, résultats parmi lesquels nous pouvons signaler, en attendant, non seulement l'irrégularité, la moindre multiplicité des fissures, mais leur ampleur tellement supérieure à celle des diaclives, qu'elles donnent naissance à de véritables vallées; enfin nous avons déjà vu que le réseau diaclivaire devait déjà exister avant l'exondation des terrains.

6° Reste donc uniquement, pour expliquer les diaclives, le retrait par l'action de la température interne et procédant de bas en haut. Il explique la source des vides diaclivaires, l'état des parois, la généralité du réseau, la succession par étages à mesure l'équilibration des températures, l'action de la cause dans les deux sens libres, le troisième étant empêché par la pression des masses; il ne se heurte à aucune difficulté à nous connue et née de l'observation des faits.

En arrivant ainsi à admettre, comme cause de diaclive, le retrait dû à la température intérieure et procédant de bas en haut par étages plus ou moins distincts, ce n'est pas une théorie que nous prétendons établir, c'est un mode d'interprétation

auquel nous sommes conduits forcément par l'absence de tout autre. Cela signifie-t-il que la nature physique du phénomène nous soit connue, que nous prétendions l'élucider, en rendre compte? Non, assurément. Il y a là un problème de *paléophysique et de paléochimie* fort au-dessus de nos forces. Nous voyons dans la nature actuelle se produire sous nos yeux des phénomènes de retrait plus ou moins réguliers, plus ou moins analogues à celui des diaclives, mais, à ma connaissance du moins, nulle part identique; c'est que nulle part non plus il ne nous est donné d'observer des conditions pareilles. Rien de plus commun en *géogénie* que des procédés qui nous paraissent n'avoir plus leurs semblables en ce moment.

Ainsi, en attendant mieux, voici comment nous nous représentons la naissance des diaclives. A mesure qu'un système de couches succédait à un autre, et, le recouvrant de son manteau plus ou moins puissant, le dérobait à l'action des phénomènes superficiels, le premier étage inférieur devait, aussi lentement qu'on voudra le supposer, voir augmenter sa température et tendre à réduction de volume, par évaporation aqueuse et aussi peut-être par passage à l'état solide de plusieurs de ses éléments fluides. Dès-lors commençait l'action du retrait dans une mesure relativement faible, nécessairement limitée par suite de la couverture hermétique supérieure, plus ou moins régulière par suite des conditions d'homogénéité et s'exerçant dans les deux sens horizontaux, les seuls où elle était libre de se produire par des solutions de continuité; le phénomène ayant lieu sous une température croissant en raison directe de l'augmentation de puissance des massifs recouvrants, mais ne pouvant cependant être fort élevée, et le tout enfin se passant durant un état pélomorphique peu diminué par la petite quantité possible d'évaporation, et sans atteindre nulle part la solidification lithomorphique de l'étoffe[1].

Quelque opinion que l'on conçoive de cette explication, et si même on en repoussait tel ou tel détail dont nous ferions bon marché, nous n'en avons pas moins été forcément conduit par les faits à admettre qu'il *y a dans la naissance du réseau diaclivaire un phénomène de retrait, procédant successivement et par étages du bas en haut dans des masses pélomorphiques*. C'est ce que les sections suivantes de ce chapitre vont confirmer de mille manières dans les détails.

1. Nous verrons ailleurs que la production des fissures de retrait n'exige nullement l'anhydration totale : c'est, du reste, ce qu'on peut constater journellement dans les plages vaseuses exondées se divisant par retrait.

n) Réserves. Tout ce qui précède relativement aux diaclives, est encore incomplet et ne pourra être complété qu'après l'examen que nous allons faire dans la section suivante de l'accidentation plastique des parois diaclivaires. C'est seulement alors que nous pourrons nous expliquer l'origine du contraste que nous avons signalé entre les deux directions, que nous avons appelées première et seconde principales, puis les causes d'un aspect de régularité peut-être plus apparent que réel dans tout le réseau diaclivaire (§ 37). Jusque-là nous prions le lecteur de suspendre son jugement et de s'abstenir d'une constatation de faits, auxquels il manque encore des caractères essentiels que notre marche méthodique ne nous a pas encore permis d'envisager. Avant d'avoir saisi tout l'ensemble de ces faits, tout essai de vérification sur le terrain risquerait d'échouer.



CHAPITRE III.

EXAMEN DÉTAILLÉ DES FAITS DE PLASTICITÉ PÉLOMORPHIQUE, OU DES PÉLOMORPHOSES.

---

§ 16. *Observations préliminaires.*

Après nous être, dans les sections précédentes, en quelque sorte mis en présence de l'étoffe originaire de nos roches et de leurs grands traits de structure, nous allons essayer de toucher du doigt les faits de plasticité qui y révèlent à la fois l'état pélomorphique et les mouvements relatifs des masses.

A cet effet, nous supposerons de nouveau l'observateur placé au milieu des circonstances stratigraphiques les plus favorables à ce genre d'examen, c'est-à-dire sur quelque point d'un terrain où la structure interne est fraîchement découverte : ainsi nécessairement dans une tranchée artificielle ou une carrière.

Nous choisirons les calcaires les plus purement vaseux que possible, tels qu'en offrent abondamment les terrains jurassiques supérieurs, d'étoffe homogène, plus ou moins lithographiques, à cassure lisse et large, parce que, comme nous l'avons déjà remarqué, c'est dans ce cas que toutes les pélomorphoses se formulent avec le plus de netteté. Une fois les faits observés dans ces conditions, on les retrouvera aisément au milieu de variétés lithologiques moins favorables et où l'initiative de ce genre d'observations aurait été plus difficile.

Nous éviterons également de commencer notre étude dans des abrupts naturels, dont les surfaces, depuis longtemps découvertes, ont été altérées par la décomposition atmosphérique, laquelle, bien que révélant certains faits, a particulièrement effacé les détails de plastique pélomorphique.

Cependant, comme, même dans les cas les plus abordables à nos recherches, l'altération météorique existe plus ou moins, nous devons en dire un mot ici avant d'entrer en matière. Rappelons donc que cette altération a essentiellement procédé par la

décomposition relativement plus rapide de l'étoffe pélomorphique, dont elle a ainsi enlevé une couche superficielle en laissant d'ordinaire en relief les éléments lithomorphiques empâtés plus lentement attaqués, téls que produits cristallins, oolites, fossiles, graviers, galets, etc. De façon que, fort souvent, l'inspection des surfaces naturelles météoriquement altérées révèle la disposition de ces corps au sein de la roche, la quantité probable de portion solide disparue, etc. Rappelons, en outre, que l'altération météorique s'étant parfois exercée inégalement sur divers éléments de l'étoffe pélomorphique elle-même, par exemple, davantage sur les lits terreux que sur les bancs compactes, met souvent en évidence des faits de succession de dépôt, ou autrement de sédimentation, inobservables d'ailleurs, etc. Il y aurait là une féconde source de réflexions que nous ne faisons qu'indiquer, afin de ne pas nous écarter de notre sujet spécial. Du reste, nous avons déjà dit un mot plus haut de la fissuration et du morcellement météorique, et nous n'en reparlerons pas ici.

§ 17. *Coup-d'œil à priori.*

Si, dans des masses pélomorphiques stratifiées, nous supposons la formation d'une diaclive par retrait, les parois de celle-ci, bien que planes dans l'ensemble, seront nécessairement, dans le détail, terminées par des reliefs plastiques analogues à ceux que nous pouvons produire en déchirant, par tractions opposées, quelque minéral de consistance ductile et pâteuse, et ces reliefs pourront varier de forme selon le degré d'hydration de l'étoffe.

Si, cela fait, et toujours durant l'état pélomorphique, une cause quelconque vient à reporter ces parois au contact, il pourra arriver trois choses : 1° ou bien elles aplaniront mutuellement leurs reliefs pour produire une surface plus ou moins ondulée mais lisse ; — 2° ou bien, à la faveur d'une petite quantité de mouvement relatif, elles viendront se frotter, et dès-lors elles se planeront mutuellement, soit à surface simplement unie, soit à surface rayée, striée, cannelée, s'il existe dans les reliefs des points résistants ou de dureté relative différente ; — 3° ou bien, si la force qui rapproche les deux massifs est suffisamment puissante, leur degré d'hydration de nature à permettre une réduction de volume par refoulement dans les parties superficielles, enfin leurs surfaces pourvues de portions d'inégale dureté et résistance, il pourra arriver que les par-

ties les plus dures de chaque paroi pénètreront mutuellement et plus ou moins profondément les parties les plus molles opposées en se cannelant réciproquement, comme cela arrive à une pâte ductile dont on force la sortie par un orifice polygonal.

En outre, si deux parois pélomorphiques, après avoir été rapprochées au contact, viennent à être éloignées de nouveau, il se produira à la superficie le genre d'aspérités que nous voyons naître dans le décollement de deux corps agglutinés.

Ensuite, si une masse pélomorphique, divisée par le réseau diaclivaire de retrait, à vides plus ou moins béants, se trouve, par suite d'une commotion dont la résultante soit une poussée latérale, projetée en totalité et sans sortir de l'horizontal dans une direction déterminée (ne fût-ce que durant un instant infiniment petit, et sauf à reprendre sa position originaire, comme le fait une substance gélatineuse ébranlée et oscillant sur sa base), les parois de toutes les diaclives vides situées dans des plans perpendiculaires à la direction de la poussée tendront à se rapprocher ou se rapprocheront en effet au contact, transmettant de gerbe en gerbe le mouvement de translation; et, après consommation de celui-ci, c'est-à-dire après retour à la situation primitive des masses, ces parois, remises ou non en contact, auront mutuellement fait disparaître de leurs surfaces les aspérités primitives de retrait qui (aussi petit qu'ait été le mouvement relatif dans le sens des plans) y auront été remplacées par un aplanissement plus ou moins parfait; les masses elles-mêmes auront ou pourront avoir éprouvé dans ce sens une réduction de volume par compression avec transsudation de liquides dans les vides diaclivaires diminués jusqu'à nullité possible. — Tandis que tous ces résultats se feront remarquer dans les plans diaclivaires perpendiculaires à la direction de la poussée, il ne se sera rien produit de pareil dans les plans diaclivaires parallèles à cette direction qui auront conservé leurs caractères plastiques originaires et ne seront généralement ni frottés, ni planés, à moins, tout au plus que, par suite de la compression et, partant, de l'extension des masses en sens opposé, leurs parois n'aient éprouvé un rapprochement jusqu'à réengrenage des aspérités plastiques, recollement ou aplanissement imparfait et accidentel.

Après cela, si, indépendamment de l'hypothèse précédente, avec ou sans les résultats de sa réalisation, un système pélomorphique diaclivé vient à éprouver un déplacement tendant à lui faire prendre une position inclinée à l'horizon, il pourra se faire

que certaines couches, les moins adhérentes entre elles par le lit épiclivaire, glissent sur celui-ci d'une quantité aussi petite que l'on voudra en aplanissant mutuellement les aspérités de l'épi- et de l'hypoclive et en y dessinant des cannelures courant comme la nouvelle plongée ; dans ce mouvement, il peut arriver que des diaclives, situées perpendiculairement à celle-ci, se referment à contact, non pas précisément en se planant (puisqu'il y a défaut de mouvement relatif dans le sens du plan), mais en effaçant cependant leurs aspérités plastiques et y substituant des surfaces lisses plus ou moins ondulées; il peut se faire en même temps que, si une gerbe éprouve ce mouvement de glissement d'une quantité différente de celui des gerbes adjacentes, les parois diaclivaires latérales qui l'en séparent et qui sont situées dans des plans parallèles à celui de la plongée, pour peu qu'il y ait contact entre elles, aplanissent mutuellement leurs aspérités et les transforment en cannelures plastiques courant parallèlement à celles de l'épiclive.

Si, en outre, et toujours indépendamment de tous les résultats précédents, avec ou sans eux, des masses pélomorphiques diaclivées éprouvent une puissante compression, celle-ci tendra à en réduire le volume par transsudation des liquides vers les vides diaclivaires, à faire fléchir les gerbes et gerbules, à en froisser verticalement les parois, à produire des ruptures, etc.

Si, de même, des commotions et déplacements sont appliqués à des masses pélomorphiques diaclivées, non seulement les parois diaclivaires et épiclivaires pourront être froissées de diverses manières, mais il pourra se former à l'intérieur toutes sortes de fissures pélomorphiques anormes offrant dans leurs parois, sauf l'élément de régularité, tous les genres d'accidentation plastique signalés plus haut.

Enfin, si toutes ces causes et modes de perturbation que nous venons de parcourir, ou plusieurs d'entre eux, viennent à être appliqués simultanément ou successivement à des massifs pélomorphiques diaclivés, il devra en résulter une combinaison complexe de tous les genres de résultats auxquels chacun peut donner lieu en particulier, les suivants modifiant ou effaçant souvent les précédents.

Dans tous ces cas, s'il n'y a pas perturbation des résultats avant consolidation, et si le degré d'hydration de l'étoffe permet le maintien des formes produites, celles-ci se retrouveront fidèlement à l'état pierreux et rigide dans la roche finalement solidifiée.

C'est évidemment ce qui est arrivé dans tous les terrains sédimentaires. Les divers cas ci-dessus sont entièrement habituels dans les diverses roches jurassiques, où ils se montrent de toutes parts. Nous n'avons, du reste, avancé ce qui précède que pour diriger l'esprit du lecteur, et nous allons arriver aux résultats par l'observation directe des faits.

Supposons donc que l'on visite une carrière ouverte dans quelque division jurassique supérieure, à pâte fine et à cassure lisse, par exemple, dans les calcaires astartiens. Si l'on s'y approche de quelque diaclive principale vide et découverte sur une étendue convenable, on la trouve, soit tapissée de diverses sortes de reliefs à forme évidemment constante, soit planée et cannelée de plusieurs façons. On trouve également les surfaces épiclivaires accidentées de différents reliefs ou dépressions également constants et caractéristiques. Ce sont ces diverses manières d'être plastiques des parois diaclivaires et épiclivaires que nous allons successivement examiner, en les prenant, non pas précisément dans leur ordre d'importance, mais dans celui où d'ordinaire (du moins dans le Jura) elles frappent le plus souvent l'observateur.

§ 18. *Des pélomorphoses dans les parois diaclivaires par fissures de retrait ou des thlasmes.* (Fig. 11.)

a) Leur description. Lors donc que l'on s'approche de la paroi d'une diaclive vide et bien caractérisée, on la trouve ou grossièrement ondulée et lisse, ce qui est le cas le moins fréquent, ou bien comme planée, ce qui est commun et que nous examinerons plus tard, ou bien pourvue d'aspérités crépues, que nous expliquerons aussi, ou bien enfin, et très-habituellement, lorsqu'elle n'est pas planée, hérissée d'esquilles, qui rappellent immédiatement celles qui se montrent à la superficie d'une pièce de bois à l'endroit où elle a été grossièrement sciée ou brisée contrairement à sa fibre : c'est par ces dernières que nous allons commencer.

Ce sont des esquilles perpendiculaires au plan général de la paroi, partant parallèles entre elles, d'aspect xyloïde, comme l'est la cassure d'une masse argileuse médiocrement humide ; ce sont comme des arrachures, des étirements de l'étoffe produites par une traction, résultant d'une séparation opérée de force. Variables de dimension d'une paroi à une autre depuis un centimètre au plus jusqu'à une longueur microsco-

pique, elles se montrent ordinairement assez uniformes dans la même paroi et d'une grandeur moyenne, oscillant entre un et trois millimètres. Les extrémités des esquilles, examinées attentivement, présentent fréquemment une flexion légère vers le bas (accidentellement dans une autre direction), comme si la substance pélomorphique avait fléchi sous son propre poids, ce qui, en outre, n'aurait pas permis à celles-ci de dépasser une certaine longueur. Du reste, leur substance fait corps parfaitement continu avec l'étoffe même de la roche, dont elles ne sont qu'un mode de délimitation superficielle. Une teinte propre, le plus souvent légère, assez souvent aussi totalement nulle, parfois plus puissante, en recouvre la surface d'un enduit souvent ocracé et qui rappelle l'enduit épiclivaire; mais il est ordinairement beaucoup plus mince et d'épaisseur à peine saisissable à l'œil dans les cassures. — Nous appellerons *thlasmes*[1] ces sortes d'aspérités, et nous dirons dès-lors qu'une paroi, qui en est tapissée, est *thlasmée*. La fig. 11 représente la coupe de deux parois opposées, pourvues de leurs thlasmes.

A une paroi diaclivaire thlasmée correspond constamment, et de l'autre côté du vide diaclivaire, une paroi thlasmée de la même manière, mais symétriquement, c'est-à-dire que les reliefs de l'une s'engrènent dans les cavités de l'autre.

Si, dans l'état pélomorphique que met à découvert une paroi thlasmée, se trouve un corps originairement lithomorphe, tel qu'un groupement cristallin, par exemple, *celui-ci se montre engagé dans les esquilles du thlasme sans en avoir éprouvé les accidents plastiques,* c'est-à-dire qu'il se montre soit entier, soit brisé. — *Souvent aussi* l'une des parties de ce corps se présente sur l'une des parois, et l'autre sur la paroi opposée dans la position symétrique, de façon qu'on voit qu'*il a été partagé par la diaclive;* c'est ainsi le cas pour certains fossiles, dont la spathisation intérieure rend les reliefs lithomorphes plus observables, comme les nérinées : on trouve l'une des moitiés de la coquille d'un côté de la fissure, l'autre moitié de l'autre côté.

b) Leur origine. Les thlasmes ne sont donc évidemment autre chose que l'accidentation plastique d'une fissure opérée dans la masse pélomorphique. Il n'est pas besoin, du reste, d'un long examen pour le reconnaître; on en jugera ainsi au premier coup d'œil.

1. De θλάω, frango.

que les esquilles longues n'ont pu se supporter elles-mêmes ; en revanche, on a souvent des esquilles d'une extrême ténuité, de façon que la superficie du thlasme n'offre guère que l'aspect pulvérulent. En outre, en général, *les aspérités des thlasmes sont d'autant plus puissantes, que la diaclive est plus étendue, plus soutenue, plus importante ;* elles vont en diminuant de grandeur comme les diaclives elles-mêmes, principales, secondaires et accessoires.

Les aspérités des thlasmes se montrent souvent rangées en lignes parallèles aux épiclives principales, et accusent ainsi la série des épiclives secondaires.

Souvent aussi, elles sont déjetées dans quelque direction prédominante, en s'allongeant et passant alors par différents intermédiaires à d'autres accidents plastiques, que nous examinerons plus loin.

On ne peut, en général, examiner un thlasme que découvert, c'est-à-dire, après dégagement du prisme, dont une des faces formait la paroi opposée. Lorsque le vide diaclivaire était grand, les thlasmes des deux parois ont pu demeurer intacts dans cette opération ; mais souvent le vide diaclivaire est très-petit et une partie des aspérités de l'une des parois sont en contact, en adhérence plus ou moins forte, avec les dépressions de l'autre ; parfois même la solution de continuité, produite par le retrait, n'ayant pas été totale, des esquilles sont demeurées communes à l'étoffe des deux parois et forment pont entre elles. Dès-lors l'enlèvement a pu détruire ces adhérences et briser des esquilles vers leur base, de façon que des portions d'aspérités de l'une des parois demeurent engagées dans des dépressions de l'autre, en montrant l'étoffe mise à découvert par une cassure sèche : c'est ce qui arrive souvent et rendrait peu intelligible certains thlasmes, si on n'y prenait pas garde. Mais ici il y a eu un recollement des parois, dont nous parlerons spécialement plus tard.

Tout ce qui précède suppose des vides diaclivaires non occupés par les cristallisations de l'époque pélomorphique. Or, le contraire est fréquent, habituel même dans plusieurs subdivisions jurassiques, où chaque vide est remplacé par une plaque spathique. Dans ce cas, les thlasmes sont plus difficiles à reconnaître ; néanmoins, si l'on enlève avec soin cette écorce cristalline, ce qui est souvent aisé, on y retrouvera habituellement les thlasmes que nous avons décrits, sauf les modifications que produit dans leur forme la diversité des étoffes pélomorphiques. *Plus l'étoffe est purement*

vaseuse, homogène et compacte lisse, *plus les thlasmes sont distincts,* si ce n'est dans les cas d'hydraulicité; *plus elle est hétérogène, chargée de corps lithomorphes, cristalline ou faiblement agrégée* (marnes, etc.), *et plus les thlasmes sont indistincts,* soit que le jaillissement des corps durs les modifiât trop, soit que l'incompacité de l'étoffe n'ait pas supporté la plastique des cassures.

Inutile d'ajouter que, du reste, ils sont parfois soit oblitérés par le suintement des eaux actuelles, soit encroûtés par les stalagmites modernes.

d) Thlasmes épiclivaires. Une dernière remarque, qui porte sur un fait général, c'est que les épiclives n'offrent jamais de thlasmes. Cela se conçoit, du reste, puisqu'entre deux couches il n'existe point de fissure de retrait dans le sens de leurs plans, et que les thlasmes sont essentiellement nés de la production d'une distance et de son maintien. Comme les épiclives offrent d'autres accidents plastiques communs aux diaclives, et afin de ne pas négliger une négation d'analogie, qui n'est pas moins importante qu'une affirmation, consignons ici la loi qu'*il n'y a point de thlasmes épiclivaires.*

§ 19. *Des pélomorphoses des parois diaclivaires et épiclivaires par rapprochement et frottement, ou des tripses* [1].

a) Leur description. Les parois diaclivaires principales ne sont pas toutes tapissées de thlasmes; on en voit, au contraire et en non moins grand nombre, qui sont sensiblement dépourvues d'aspérités, et offrant le même aspect que si elles avaient été plus ou moins bien lissées, soit par la compression sans mouvement, soit par le frottement de la paroi opposée, ou, pour nous servir d'un terme de gypseurs, comme si elles avaient été passées à la *taloche.* Les parois diaclivaires, ainsi accidentées, sont fort habituelles et fort étendues; dans les carrières elles servent le plus souvent de *routes* principales aux ouvriers; enfin leur manière d'être les fait remarquer d'un observateur en première ligne et même avant les parois diaclivaires thlasmées que nous venons d'étudier.

Les surfaces ainsi terminées sont, du reste, de deux espèces [2] principales. Les

1. De τρίψις, frottement.

2. Rigoureusement parlant et dans une nomenclature systématique complète, il faudrait distinguer par une dénomination particulière ces tripses, qui ne supposent que compression sans mouvement dans le sens du plan comprimé.

unes sont visiblement plutôt *ondulées* (fig. 12) qu'aplanies, et font naître l'idée d'un simple effet de contact sans mouvement relatif entre deux masses pélomorphiques; ce sont les moins fréquentes; en les suivant attentivement, on remarque qu'elles sont parfois interrompues par des espaces plus ou moins grands ou fréquents, occupés de thlasmes intacts ou à demi effacés. — Les autres sont évidemment *planées* (fig. 13) et font naître l'idée, non plus d'un simple effet de contact, mais d'un contact avec mouvement relatif, abattant toute inégalité, ou enfin d'un frottement plus ou moins puissant de deux masses pélomorphiques. Le plus souvent, dès-lors, elles offrent des rayures mousses, des cannelures plus ou moins légères (fig. 17); mais parfois aussi l'on n'y en voit aucune et elles se montrent unies sur des étendues plus ou moins grandes, et ce, de manière à produire une sorte de poli qui va parfois jusqu'au luisant et au miroitant.

Nous appellerons en général *tripses* ces surfaces modifiées par contact et frottement, qui jouent dans toutes nos roches un rôle non moins capital que les thlasmes; nous nommerons *tripses ondulés* ceux de la première espèce signalée tout-à-l'heure, et *tripses planés* ceux de la seconde; de même que nous avons dit qu'une paroi diaclivaire est thlasmée, nous dirons aussi qu'elle est *tripsée*.

A une paroi tripsée correspond toujours une paroi tripsée pareille, mais symétrique, quand bien même il y a vide diaclivaire ou remplissage de celui-ci.

D'ordinaire, dans les tripses pleins, les cannelures sont parallèles entre elles sur de grandes étendues, puis dans des positions diverses relativement aux épiclives, à la plongée, à l'horizon, etc., ce que nous verrons ailleurs; la longueur réelle d'une cannelure indique évidemment la quantité de mouvement relatif qui a eu lieu entre les deux parois; mais la mesure de cette longueur offre plus d'une difficulté.

Souvent, à l'intersection d'une paroi diaclivaire tripsée par la diaclive d'équerre, intersection qui montre la coupe de la première par un plan secant, on voit sur les bords des cordons ou *bavures de l'étoffe pélomorphique* (fig. 15), qui en indiquent le refoule-

C'est ce que nous aurions fait, si ce n'eût été notre répugnance à augmenter encore le nombre déjà si grand de mots nouveaux employés dans ce livre. Nous aurions pu les nommer thlipses, de θλίψις, compression. On les distingue souvent avec facilité des tripses de frottement, et dans des cas où cette distinction serait utile, il y a des thlipses diaclivaires et des épiclivaires. Les premiers provenant d'un rapprochement par glissement latéral et nés d'une moindre compression, sont seulement ondulés (fig. 12); les seconds, dus à une compression verticale plus énergique, ont aplani l'enduit épiclivaire galénique (fig. 14), ou bien ils y ont fait des empreintes nettes, sans le déchirer.

ment, il arrive même qu'ils recouvrent et cachent parfois totalement la ligne d'intersection des deux diaclives entre elles.

Lorsque, dans l'étoffe terminée par une paroi tripsée, il s'est rencontré un corps lithomorphe, il n'a point perçu la configuration plastique de cette étoffe, il n'a point été tripsé comme toute la surface ambiante, mais imparfaitement nivelé par brisure et écrasement à la manière des corps durs.

Souvent, dans l'une des parois tripsées, on voit jaillir la moitié d'un de ces corps lithomorphes, comme un groupement cristallin ou un fossile, puis symétriquement, dans la paroi opposée, l'autre moitié.

Lorsqu'un corps de forme déterminée, tel qu'un fossile, se trouve engagé dans la partie de l'étoffe attenante à une paroi tripsée, on remarque souvent qu'il a éprouvé une déformation par compression dans le sens de celle qui a plané cette paroi.

Enfin, bien qu'entre deux parois diaclivaires tripsées, il y ait très-souvent un vide diaclivaire occupé ou non, *très-souvent aussi il y a entre elles un étroit contact* (fig. 16).

b) Leur origine. Si l'on réfléchit aux caractères énumérés ci-dessus, on ne peut douter un instant que les tripses ne soient le résultat du rapprochement au contact avec ou sans mouvement relatif des parois diaclivaires à l'état pélomorphique. Or, ceci suppose évidemment une diaclive préexistante avec ses parois thlasmées. *Ainsi, les tripses diaclivaires ne sont autre chose que l'accidentation plastique, résultant du rapprochement et du froissement mutuel des parois diaclivaires originairement thlasmées, et chez lesquelles les thlasmes ont été effacés et remplacés par un lissage ondulé, plane ou cannelé.*

c) Accidents intermédiaires. Aussi voit-on fréquemment des cas où le dessin des thlasmes n'a été qu'à demi modifié; les esquilles ont été déjetées, aplaties et étirées dans un sens déterminé, de façon qu'il en résulte un état intermédiaire qui participe des thlasmes par le caractère des esquilles, et des tripses par la prédominance de l'aplanissement; cela a eu lieu, lorsqu'il y a eu frottement sans compression suffisante, et sans contact parfait des étoffes. De là ce que l'on pourrait, si l'on veut, appeler des thlasmo-tripses.

d) Remarques complémentaires. On peut, du reste, appliquer aux tripses diaclivaires, quant à leur condition de présence ou de perfection, tout ce que nous avons dit des thlasmes au paragraphe précédent (*c.*, dernier alinéa).

e) Des tripses épiclivaires. Une différence capitale, qui existe entre les tripses et les thlasmes, c'est que les premiers n'accidentent pas seulement les parois diaclivaires, mais encore très-souvent les épiclives (et partant les hypoclives). Bien que deux assises consécutives, dans les mouvements des masses, n'aient guère pu être détachées et maintenues à distance, selon les plans épi- et hypoclivaires de contact, de manière à produire des thlasmes, ces assises ont, cependant, en un grand nombre de cas, pu subir une petite quantité de déplacement relatif, en glissant l'une sur l'autre à frottement, et, par conséquent, en se tripsant mutuellement. (Fig. 18.)

Si l'on se représente la surface de contact de deux couches ainsi superposées, on comprendra qu'en général elle n'était pas réellement plane, mais qu'elle offrait un relief plus ou moins ondulé, dont les inégalités s'emboîtaient symétriquement. En donnant un mouvement de glissement à l'une des assises par rapport à l'autre, les reliefs de l'épiclive ont tendu à raser ceux de l'hypoclive; l'étoffe refoulée comblant plus ou moins complètement les vides survenus, selon la quantité de translation, l'aspérité des surfaces, l'hydration de la pâte, etc. De là, comme résultat, sur chaque plan de contact, l'épiclive par exemple, tous les intermédiaires qu'on peut se représenter entre une surface, dont les reliefs ondulés sont seulement écorchés çà et là, et une superficie plane, luisante même : intermédiaires comprenant comme norme moyenne une surface planée à tripses cannelés parallèles, plus ou moins interrompus.

Rien de plus commun que ces tripses épiclivaires sur une très-grande échelle dans les terrains jurassiques à couches inclinées, dans les grandes dislocations du Jura. Les observateurs jurassiens les ont indiqués çà et là comme un fait accidentel; ils constituent, au contraire, un fait général des plus importants en orographie.

Les tripses épiclivaires diffèrent, du reste, des tripses diaclivaires par un caractère presque constamment observable. Les parois diaclivaires ne sont revêtues que d'un enduit rare et mince, et leurs tripses sont à peu près purs de l'immixtion de cet enduit. Au contraire, les épiclives étant presque constamment recouvertes d'un enduit beaucoup mieux accusé de nature, d'aspect, de couleur différente de ceux de l'étoffe pélomorphique, il est rare que cet enduit ait été totalement détruit par le frottement; presque toujours, au contraire, il est resté, par lambeaux lacérés, tripsé avec l'ensemble de la superficie et la bigarrant de taches ordinairement ocracées. De façon,

enfin, que, dans des échantillons isolés, on distingue aisément un tripse épiclivaire d'un diaclivaire. Indépendamment de cela, la compression qui, toutes choses égales, devait être plus grande entre deux assises verticalement superposées qu'entre deux gerbes latéralement poussées, a déterminé encore d'autres caractères, dont nous parlerons plus loin.

En résumé, *les tripses épiclivaires ne sont autre chose que l'accidentation plastique des surfaces épiclivaires par glissement relatif des couches pélomorphiques superposées.*

Insistons sur cette remarque, qu'*il y a donc des tripses épiclivaires et des diaclivaires, tandis que les thlasmes sont essentiellement diaclivaires.*

f) Tripses des fissures anormales ou cavaliers. Enfin, terminons en ajoutant qu'*outre les tripses diaclivaires et épiclivaires habituels,* et qu'on pourrait qualifier de réguliers, *il y en a aussi et fréquemment qui accidentent les fissures pélomorphiques anormales,* et qui sont même très-puissamment caractérisés.

§ 20. *Des pélomorphoses des parois diaclivaires par décollement, ou des xécollèmes*[1].

a) Leur description. Les diaclives tripsées, à côté de leurs parties planées, montrent souvent, et sur de grandes étendues, des reliefs particuliers qui attirent tout d'abord l'attention de l'observateur et dont nous aurions dû, à cause de cela, traiter en premier lieu, si leur interprétation n'exigeait pas ce qui précède. Ce sont des reliefs analogues aux thlasmes, mais ordinairement plus saillants, moins serrés, plus frappants, qui donnent à la paroi diaclivaire un aspect général, non plus esquilleux, mais en quelque sorte chenillé, vermiculé, crépu et labyrinthiforme. C'est un autre croisement irrégulier de dépressions à profil concave, arrondi, séparées les unes des autres par des crêtes le plus souvent tranchantes, dont la section offre deux courbes adossées du côté de leur convexité et tangentes au sommet qui correspond à l'extrémité de la crête. Ces crêtes forment comme un plexus topographique de *chaînes* inégales en hauteur et interceptant des *vallécules* le plus souvent fermées, d'autres fois correspondant entre elles par quelque *col*. Ces aspérités tapissent fréquemment de vastes surfaces diaclivaires. Du reste, *à une paroi ainsi accidentée correspond toujours symétriquement une paroi accidentée de la même manière.* (Fig. 19.)

1. De ξεκόλλημα, décollement.

Si l'on parcourt avec soin une série des chaînes qui composent ainsi le plexus de ces reliefs, on constate bientôt que le feuillet mince qui en forme les crêtes, bien qu'habituellement perpendiculaire à la paroi, est très-souvent aussi plus ou moins plié et recourbé vers le bas comme une substance originairement molle, qui a cédé à son propre poids. En examinant leur cassure transversale, on s'y convainc d'abord que l'étoffe est en continuité parfaite avec celle de la masse rocheuse qu'ils tapissent, et qu'en outre l'altération de leur surface, consistant en une teinte fort légère (lorsqu'elle n'est pas entièrement nulle), ne s'étend à l'étoffe que d'une quantité à peine appréciable à l'œil. Lorsque les parois d'une diaclive en sont tapissées, le vide diaclivaire est presque constamment d'une longueur relativement plus grande que cela n'a lieu dans le cas des parois tripsées ou thlasmées. Sauf des cas particuliers à l'intersection commune des trois faces d'une gerbe, où il existe parfois d'assez grandes vacuités qui montrent de petites portions de surfaces hypoclivaires tapissées de crêtes, on peut dire que ce genre d'accident plastique est étranger aux épiclives. Ce que nous avons dit de l'émergence des corps lithomorphes à l'état brisé sec entre des esquilles des thlasmes, se passe de la même manière ici au milieu des vallécules. Enfin, on voit aussi parfois les crêtes rangées horizontalement, selon des épiclives secondaires, etc. Nous nommons *xécollèmes* les reliefs que nous venons de décrire.

b) Leur origine. Si l'on a saisi la description qui précède et si l'on se fait une image exacte des formes plastiques, dont nous avons cherché à donner l'idée, ce qui ne laisse pas d'être difficile, on comprendra que les reliefs dont il s'agit sont entièrement semblables à ceux qu'on obtiendrait au moyen de deux masses d'étoffe pélomorphique suffisamment imbibée, déliée et collante, que l'on rapprocherait d'abord au contact, puis que l'on séparerait violemment par deux tractions de sens contraire, à peu près perpendiculaires au plan de rapprochement. La simple vue de parois tapissées de xécollèmes éveille, à cet égard et immédiatement, une conviction que ne peut malheureusement produire aucune description; on peut, du reste, y suppléer très-bien par des échantillons isolés, empruntés à la roche.

Nous pensons donc que les xécollèmes sont nés de la séparation des parois diaclivaires après contact et par disjonction. Nous avons déjà vu que ce rapprochement a habituellement eu lieu et donné naissance aux tripses; mais, à cette adhérence mo-

mentanée (et probablement instantanée), a fréquemment succédé un retour des gerbes à leur position originaire; ce retour, dans certains cas d'hydration, de viscosité et d'adhérence insuffisante, secondées d'un mouvement de séparation oblique aux plans des parois, a pu se faire sans produire à leur surface de nouveaux accidents plastiques, et dès-lors elles sont demeurées simplement tripsées; mais dans le cas, au contraire, d'adhérence, d'hydration et de viscosité de l'étoffe, à un certain degré secondées d'un mouvement de détachement plus normal aux parois, il y a dû nécessairement avoir décollement et arrachures, comme noûs en voyons se former dans les cas analogues par la séparation forcée des surfaces agglutinées. Ces arrachures de décollement sont les xécollèmes. Donc, pour nous, *les xécollèmes sont l'accidentation plastique des parois diaclivaires par décollement pélomorphique, après rapprochement.*

Les carriers envisagent les xécollèmes comme dus à l'action des eaux actuelles ruisselant le long des parois rocheuses solides, et nous avons entendu plus d'un géologue les interpréter ainsi, sans y attacher autrement d'importance. Il suffit d'avoir examiné sérieusement une paroi de ce genre pour se convaincre que cette opinion est inadmissible. Soit que les eaux agissent sur une roche à l'état pélomorphique, soit qu'elles s'exercent sur une roche consolidée et dure, elles ne produisent rien de semblable. Elles ne sauraient donner lieu, ni à des arêtes aiguës, ni à des vallécules fermées, ni à des crêtes recourbées dans le sens du poids de l'étoffe, etc. Au contraire, elles arrondissent toutes les formes le long desquelles elles coulent, ce qui se voit souvent sur les xécollèmes eux-mêmes. — On pourrait aussi supposer, de la part des eaux et autres agents météoriques, un effet de décomposition inégale vers les parties diversement attaquables de la roche, décomposition produisant les creux et les reliefs des xécollèmes, comme cela se voit en effet dans certaines roches littorales vermiculées par le flot; mais on reconnaît aisément que leurs inégalités traversent, sans aucun égard, toutes les modifications de composition et de dureté de l'étoffe, etc. —Au reste, après ce qui précède et ce qui va suivre, notre interprétation des xécollèmes est si naturelle, qu'il nous paraît oiseux d'insister sur la réfutation d'opinions légèrement préconçues en dehors de l'examen des faits.

c) Xécollèmes épiclivaires. Les xécollèmes sont, comme les thlasmes, essentiellement diaclivaires et de grande échelle. On conçoit qu'ils n'ont pu naître dans les

conditions décrites ci-dessus entre une épiclive et l'hypoclive surjacente, puisque les plans de celles-ci ne sauraient avoir été reportés à distance, parallèlement à elles-mêmes, après contact. Cependant, on rencontre çà et là des cas où cela a eu lieu, mais très en petit. Lorsque deux couches glissaient l'une sur l'autre, la supérieure basculant légèrement après une inégalité de l'inférieure qu'elle dépassait, pouvait laisser un vide au-dessus, et partant des arrachures xécollèmes. C'est, en effet, ce que l'on observe quelquefois sur des épiclives médiocrement inclinées. L'hypoclive supérieure en a enlevé des portions circonscrites par la disparition de l'enduit épiclivaire et la mise à nu de l'étoffe portant de petites zones crêtées, qui sont de véritables xécollèmes. La fig. 20 n'en donne qu'une idée imparfaite, qu'il est difficile de compléter par une description. Heureusement, ce genre de faits n'est rien moins qu'habituel.

§ 21. *Des parois diaclivaires adhérentes par maintien de leur rapprochement avec réagglutination, et de leurs accidents plastiques mutuellement réengagés, ou des syncollèmes*[1] *diaclivaires*. (Fig. 21).

On conçoit, par ce qui précède, qu'il ne saurait y avoir aussi souvent frottement et décollement des parois après adhérence momentanée, soit qu'il se soit présenté des cas où cette dernière ait persisté et fermé ainsi plus ou moins hermétiquement les diaclives; c'est, en effet, ce qui a eu lieu fréquemment. Les parois diaclivaires sont demeurées soit étroitement réengagées dans les aspérités les unes des autres, soit agglutinées selon des faces plus planées, sans laisser d'intervalle assez prédominant quant à la quantité superficielle, pour qu'il y ait eu solution de continuité nettement accusée dans les masses.

Il faut bien distinguer. Ces diaclives, ainsi ressoudées, l'ont été par les accidents de l'étoffe même des parois et non par un remplissage de leur vide, provenant d'une nouvelle sédimentation : cela n'a jamais eu lieu. On ne les confondra pas non plus avec les diaclives qui ont réellement laissé un intervalle, occupé plus tard par le développement de quelque substance lithomorphe, telle que les calcaires spathiques. Entre les parois, les diaclives dont nous parlons, la quantité de surface adhérente l'a emporté

1. De συγκολλάω, j'agglutine.

sur celle des superficies maintenues à distance, de manière à reconstituer un tout généralement solide.

On conçoit, du reste, que les accidents plastiques, dès-lors internes, qui se trouvent à la juxta-position des parois, ne sauraient être autres que ceux que nous avons déjà décrits comme tapissant les parois libres, avec cette différence, cependant, qu'ils sont mutuellement et étroitement engagés de manière à maintenir unies des surfaces ailleurs séparées.

Ainsi, en général, de semblables diaclives ne sauraient se présenter à l'observateur sous la forme de disjonction dans les massifs; mais on conçoit qu'elles n'en sont pas moins un élément essentiel du réseau diaclivaire. Souvent elles n'émergent nullement, ou par aucun signe, à la surface des diaclives d'équerre, déguisées qu'elles sont encore par le refoulement des tripses. Souvent aussi, cependant, elles affleurent par une frange esquilleuse plus ou moins prononcée et même par une bavure crêtée, qui se dresse en traversant les thlasmes ou les xécollèmes de la paroi rectangulaire. Mais, en tous cas, elles ne s'isolent point naturellement comme parois de massifs, et ne sont mises à découvert que par une force artificielle, appliquée de manière à détruire l'adhérence en détachant ou brisant les parties engagées, ainsi que cela se pratique dans les carrières. Souvent cette adhérence n'est pas très-puissante et cède aisément; mais parfois aussi elle est telle, qu'il se produit plutôt fracture sur un plan voisin plus ou moins parallèle au sien. Même dans les cas les plus favorables, la séparation des deux parois n'a point lieu sans que chacune d'elles emporte de son côté quelque élément de l'autre, solidement engagé et qui doit être rompu à sec pour produire disjonction.

Nous dirons que les diaclives, dont les parois sont ainsi adhérentes, réagglutinées, réengagées, l'ont été par *syncollème*. Il résulte de la nature même du fait, que l'observateur ne saurait en prendre connaissance qu'au moyen d'une rupture artificielle, produite à peu près selon le plan idéal d'adhérence : cette rupture met nécessairement en évidence, de chaque côté, des surfaces chargées de reliefs mixtes, les uns purement pélomorphes et appartenant à l'accidentation plastique primitive des parois, les autres de cassure sèche lithomorphe, modifiant cette accidentation. On peut donc y distinguer trois éléments principaux : 1° Ceux qui ont conservé le caractère pélomorphe sans brisure; ils correspondent aux surfaces de moindre adhérence et même de manque

d'adhérence; 2° ceux de la paroi envisagée, qui n'ont pu se séparer de l'opposée sans cassure sèche, celles-ci se montrant dès-lors à leur extrémité et la portion brisée étant devenue partie intégrante de cette paroi opposée; 3° ceux de la paroi opposée qui, étant plus solidement engagés dans la paroi envisagée que dans celle dont ils étaient originairement des accidents plastiques, ont été entraînés, après une cassure sèche, vers leur base, dont ils présentent dès-lors la superficie. Ces deux dernières catégories de reliefs formaient *pont*, ou, si l'on veut, *grapin* entre les deux parois; nous les nommerons *esquilles syncollémiques*. Lorsque ces sortes d'esquilles n'existent point après séparation violente de deux parois étroitement jointes, c'est qu'il n'y avait que contact ou bien légère agglutination par les enduits diaclivaires superficiels.

Les parois réengagées par syncollème se retrouvent à tous les degrés du réseau diaclivaire. Elles sont particulièrement communes dans les diaclives de rang inférieur, dont elles dissimulent fréquemment la présence, *circonstance à laquelle il est nécessaire d'être attentif, si l'on ne veut pas se faire des idées inexactes sur la multiplicité originaire des fissures de retrait.*

Remarquons maintenant que, dans tout ce qui précède, nous avons supposé la surface des deux parois diaclivaires agglutinées, mise à découvert artificiellement et à l'état lithomorphique actuel. Néanmoins, dans la nature, il est aussi arrivé qu'après adhérence des parois par syncollème, après formation d'esquilles syncollémiques solidement engagées, il y a eu de nouveau réouverture de la diaclive avec des résultats analogues à ceux que l'on produit maintenant par une séparation forcée, mais avec des cassures et esquilles syncollémiques pélomorphes. C'est-à-dire que, bien entendu, dans ce cas, l'adhérence syncollémique générale des parois n'existe plus, mais chacune de celles-ci est demeurée plus ou moins pourvue d'esquilles syncollémiques arrachées à la paroi opposée, esquilles engagées par le sommet et montrant à l'observateur non plus une cassure sèche de leur base, mais une rupture plastique pourvue de l'une ou l'autre des accidents pélomorphiques que nous avons décrits, notamment des thlasmes.

Il y a donc, dans les diaclives, des *esquilles syncollémiques sèches* et d'autres *pélomorphiques. Ces dernières indiquent une réouverture de diaclives.*

Avant d'aller plus loin, remarquons que les syncollèmes diaclivaires supposent

adhérence et non défoncement et pénétration mutuelle des étoffes, fait qui donne lieu à des caractères particuliers, que nous examinerons bientôt.

§ 22. *De l'adhérence des surfaces épi- et hypoclivaires ou des syncollèmes épiclivaires.* (Fig. 22.)

Lorsqu'on détache une couche compacte de dessus la couche sous-jacente, souvent leurs épiclive et hypoclive, légèrement séparées ou non par quelque enduit ou lit très-mince, se montrent complètement indépendantes et disjointes, de façon que l'épiclive n'emporte rien de l'étoffe de l'hypoclive, ou réciproquement.

Mais infiniment plus souvent, en réalité, lorsqu'il y a contact entre ces deux genres de parois, il y a aussi adhérence étroite : de là même, la solidité des couches divisibles en plusieurs lits par des plans épiclivaires. Les *syncollèmes épiclivaires* sont donc un fait non pas exceptionnel, mais normal, puisqu'au fond les divisions épiclivaires principales ne sont qu'une exception.

L'adhérence par syncollème d'une multitude de surfaces épi- et hypoclivaires est donc, dans la règle, très-forte, et c'est parce qu'il en est ainsi qu'il s'est formé ce qu'on appelle des couches puissantes et compactes, difficiles ou impossibles à subdiviser, selon leurs lits naturels secondaires.

Néanmoins, entre la disjonction plus ou moins parfaite de certaines couches et l'adhérence, maximum de certaines autres, il y a bien des intermédiaires, et ce sont ceux-ci qui éveillent le plus l'attention, parce que, après séparation de deux lits, on remarque souvent, dans la surface épiclivaire découverte, des portions du lit supérieur demeurées incrustées, et montrant à l'observateur leur étoffe mise à nu par les cassures.

Cette séparation des couches dans le sens épiclivaire peut avoir eu lieu, soit artificiellement dans les carrières, soit naturellement dans les ablations orographiques. — Dans le premier cas les *esquilles syncollèmes* épiclivaires se montrent donc engagées dans les cavités de l'épiclive, en présentant à l'observateur leur étoffe par une cassure sèche. — Dans le second cas, elles sont incrustées de la même manière, mais en présentant au dehors des ruptures plastiques, appartenant à l'une ou l'autre des accidentations déjà décrites ci-dessus.

Il y a donc, dans les épiclives, des *esquilles syncollémiques sèches* et d'autres *pélomorphiques : ces dernières indiquent l'état pélomorphique au moment de l'ablation.*

Remarquons de nouveau, avant d'aller plus loin, que les syncollèmes épiclivaires supposent adhérence et un défoncement des étoffes, fait qui donne lieu aux caractères spéciaux que nous allons voir à l'article suivant.

Remarquons enfin que, bien que les syncollèmes diaclivaires et les épiclivaires offrent des caractères analogues après détachement des plans de jonction, ils diffèrent cependant essentiellement, en ce que dans les premiers l'adhérence n'a eu lieu qu'après fissure, tandis que dans les seconds elle a été immédiate. En outre, dans les premiers, les esquilles syncollémiques peuvent être de la nature des thlasmes, ce qui ne peut avoir lieu dans les seconds, où elles ne sont que le modelé des ondulations et autres inégalités épiclivaires *galéniques;* d'abord qu'il y a défoncement de l'épiclive et pénétration de l'étoffe, on passe aux accidents que nous allons examiner.

§ 23. *Des pélomorphoses par pénétrations mutuelles de l'étoffe pélomorphique, ou des diapérasmes* [1].

Si, dans une carrière, dans une tranchée fraîche découvrant une série d'assises, on soumet à une investigation attentive les lignes qui dessinent sur la paroi diaclivaire que l'on a devant soi, l'affleurement de la jonction des épiclives avec leurs hypoclives, on ne les trouvera sans doute pas géométriquement droites, mais d'ordinaire sinueuses et çà et là légèrement irrégulières. Très-souvent, rien en elles ne révélera autre chose qu'un contact plus ou moins étroit. Mais, fréquemment aussi, les petites dentelures de leur dessin, prenant des dimensions plus considérables et donnant finalement à une ligne, que l'on s'attendait à trouver à peu près droite, un cours fort inégal, brisé et chevauché, elles fixeront plus particulièrement l'attention. Si l'on tombe sur quelque endroit où ce caractère soit bien accusé, on verra clairement la ligne de jonction épiclivaire habituelle remplacée par une véritable ligne d'engrenage irrégulier, au-dessus et au-dessous de laquelle, de distance en distance, alterneront des portions de l'étoffe pélomorphique et des cannelures nettement et constamment perpendiculaires à l'axe

1. De Διαπερασμα, pénétration.

idéal de l'assise (c'est-à-dire verticales lorsque les terrains sont horizontaux), cannelures parfaitement droites, atteignant souvent plusieurs centimètres et parfois bien davantage. La fig. 23 (1) représente une de ces lignes de jonction de l'épiclive et de l'hypoclive, c'est-à-dire la coupe par un plan diaclivaire vertical des deux bancs superposés A et B. Les parties *aaa*... indiquent la position des cannelures verticales, qui apparaissent à l'observateur, tout le reste de la face diaclivaire offrant les caractères habituels. La ligne de jonction se dessine par une teinte analogue à celle de l'enduit épiclivaire, laquelle colore souvent aussi les cannelures. Si l'on désengrène l'une des dents cannelées, appartenant à la couche A, elle met à découvert un vide parfaitement symétrique dans l'étoffe de la couche B, c'est-à-dire offrant exactement la contre-épreuve de ses cannelures, et l'on est conduit à penser qu'en général il en est ainsi dans tout le contact des deux surfaces d'engrenage qu'on ne voit naturellement que selon une section. En effet, si l'on parvient à mettre à découvert, sur une certaine étendue, deux portions de ces sortes de surfaces symétriquement engrenées (épiclive et hypoclive), ordinairement adhérentes, on se convainc qu'il en est réellement ainsi.

On a donc ici deux couches consécutives engrenées entre elles, non pas par des inégalités originaires à leur épi- et hypoclive, ce qui serait possible, mais par une *pénétration mutuelle* et plus ou moins profonde de leurs étoffes le long de leurs faces de jonction, qui, de planes ou à peu près qu'elles étaient, sont devenues inégales par défoncement. *Nous nommerons diapérasmes les dents cannelées de ces sortes d'engrenages par pénétration mutuelle le long de la jonction horizontale des assises.* Ils ne sont autre chose que l'une des formes lithologiques qui ont été désignées sous la dénomination de stylolithe, cette dénomination en comprenant d'autres encore d'origine différente.

Une épiclive ainsi défoncée par des diapérasmes rappelle beaucoup les configurations que détermine la pluie à la superficie d'un dépôt de marnes ou autre substance terreuse peu résistante. La chute verticale de chaque goutte produit une dépression vaguement cannelée, et l'ensemble de celles-ci finit par isoler des sortes de pics à flancs ravinés qui, concuremment avec les creux interjacents, forment un plexus topographique et rappellent certaines représentations des Alpes dans les vieilles cartes de la Suisse. Un trait encore complète le rapprochement : chaque grain de sable ou pierraille disséminée à la superficie de l'argile y est devenu le sommet d'un pic (tout

comme les blocs dans les glaciers) et tout comme chaque pierraille lithomorphique est devenue, sur la surface épiclivaire diapérasmée, le couronnement d'une stylolithe. Il y a seulement la différence que, dans les pics argileux de formation pluviale, les cannelures ne sont ni nettes ni réellement verticales, tandis que dans les stylolithiques elles offrent nécessairement et constamment ces caractères.

Etudions de plus près le mécanisme qui donne naissance aux diapérasmes.

Soient, en place, deux couches horizontales pélomorphiques à pâte fine et très-imbibée, superposées et au contact par leurs hypo- et épiclive; celles-ci, avec leurs irrégularités primitives de surface, leurs aspérités naturelles, leurs fossiles et parties dures plus ou moins saillissantes, leur enduit ferrugineux, argileux, manganétique, etc.; l'étoffe même des assises avec ses inégalités de consistance, d'imbibition, d'accidents lithomorphes, etc.

Supposons (fig. 23 [2]) la couche supérieure fortement et verticalement pressée contre l'inférieure. Si, le long du contact *abcde*, tout étant, de part et d'autre, également résistant et compressible, l'étoffe, en tant que susceptible de réduction, pourrait éprouver une diminution d'épaisseur, et la surface hypoclivaire supérieure se bornerait à faire, dans l'épiclive sous-jacente et sans y produire aucune solution de continuité, une empreinte en creux *bcd*, égale à elle-même. Mais si, le long de ce contact, par une cause quelconque, la portion *bd* était, soit moins résistante, soit plus pressée que les autres parties ambiantes, l'épiclive serait percée, déchirée, et la surface *bd*, grâce à la compressibilité de l'étoffe, serait portée vers le bas par le prisme correspondant *xbcdy* (fig. 23 [2]) d'une certaine quantité *bb'* (fig. 23 [3]). Dès-lors, l'étoffe pélomorphique de la couche supérieure viendrait remplir la cavité *bb'dd'*, en en tripsant verticalement les parois. Si la partie moins résistante, dont *bd* est la coupe, était en plan un rectangle, le solide *bb'dd'* serait un prisme droit, ayant ce rectangle pour base et plus ou moins finement tripsé sur ses faces latérales. Mais si, au lieu de cette hypothèse mathématique, nous envisageons une surface moins résistante irrégulière (fig. 23 [4]), au lieu d'avoir un prisme géométrique, on aura une colonne prismatique cannelée plus ou moins finement, à pans plus ou moins nombreux, à cannelures plus ou moins accidentées, du reste, par les rencontres d'inégalités lithomorphiques qui ont pu se trouver dans l'étoffe, mais toujours verticale, toujours

cannelée verticalement par l'orifice de filière. Ce corps, ainsi tripsé (fig. 23 [5]), est un diapérasme, de même que le moule qui le reçoit (fig. 23 [6]) et qui lui-même offre les caractères symétriques, le creux d'un côté, le relief de l'autre. L'un et l'autre auront, en *cd* et *c'd'*, des traces de l'épielive transportée ou de quelque corps relativement plus lithomorphe que l'étoffe générale (fossiles, cristallisations). Les cannelures montreront, soit l'étoffe pure de la roche, soit celle-ci postérieurement colorée par quelque léger enduit ocracé ou manganétique, contemporain ou postérieur à la naissance du diapérasme.

Les corps isolés, tels que celui de la fig. 23 (5) que l'on aurait détachés de la roche selon *be*, ont, comme nous l'avons dit, souvent été désignés sous le nom de stylolithes, mais confondus avec des formes analogues, d'origine différente. Nous ne croyons pas qu'on ait déjà donné l'explication que nous venons de détailler. On les a envisagés isolément, tandis qu'ils ne sont que des dents de lignes d'engrenage, qui seules révèlent le fait de la pénétration mutuelle de deux étoffes pélomorphiques le long d'un joint épiclivaire. Bien que l'expression de stylolithe ait été appliquée à d'autres faits, rien n'empêche de la conserver, si on le juge convenable, pour désigner une dent isolée de cette engrenage; mais nous proposons la dénomination de diapérasme pour l'ensemble de l'accident plastique.

C'est lorsque les diapérasmes se montrent fortement caractérisés, qu'on en reconnaît clairement l'origine comme nous venons de l'exposer, et, dans ces sortes de cas, qu'il est utile de les observer d'abord. On en remarque dont les cannelures atteignent jusqu'à cinq centimètres, mais elles sont habituellement beaucoup moindres. On voit des lignes sinueuses de diapérasmes, dont les cannelures varient de un à trois centimètres, se soutenir sur toute la longueur des parois diaclivaires découvertes, et c'est surtout en les suivant dans le sens horizontal qu'on se convaincra de la légitimité de notre interprétation.

C'est dans les bancs de calcaires compactes à pâte fine, que nous avons vu le plus fréquemment se dessiner ce genre de pélomorphose. Mais, une fois qu'on l'a vu, on le retrouve, sur une échelle plus petite il est vrai, dans la plupart des subdivisions jurassiques, où en réalité les diapérasmes sont très-répandus; ils se montrent abondamment dans le conchylien.

C'est essentiellement dans les lignes de jonction épiclivaire qu'ils se sont développés sous l'action du poids des massifs superposés. Ils ne se sont formés que beaucoup plus rarement au contact des parois diaclivaires. Soit que les forces qui poussaient latéralement les gerbes les unes contre les autres aient été insuffisantes, soit qu'à l'époque des mouvements de ce genre l'état pélomorphique de l'étoffe ait déjà acquis un degré de consolidation qui s'y opposait, toujours est-il qu'on voit fort peu de diapérasmes bien caractérisés au contact des parois diaclivaires. Néanmoins, ils n'y sont pas entièrement nuls. — On en retrouve aussi, du reste, dans les ruptures pélomorphiques anormales.

Remarquons, avant de terminer, qu'il faut prendre garde de ne pas confondre, dans des diaclives très-accidentées, les esquilles rigoureuses et imparfaitement sillonnées par étirement avec les stylolithes des diapérasmes. On distinguera toujours les seconds des premiers à la rectitude linéaire des cannelures et à leur parallélisme, caractères essentiels à leur mode d'origine et qui ne se trouvent jamais dans les esquilles des thlasmes.

En outre, lors de la séparation, soit artificielle et lithomorphiqne, soit par ablation et pélomorphique, de deux couches consécutives diapérasmées, il arrive souvent que des *esquilles stylolithiques* de la couche supérieure se rompent et demeurent engagées dans l'épiclive découverte (et réciproquement), en présentant dès-lors un aspect analogue à celui des esquilles syncollémiques (fig. 23 [7]), c'est-à-dire notamment en offrant à l'observateur, au milieu des autres accidents galéniques de l'épiclive, les cassures sèches ou pélomorphiques de leur base, ces dernières accidentées encore à formes plastiques. On comprend que, malgré la similitude d'aspect, ces deux espèces d'esquilles diffèrent essentiellement, en ce que les stylolithiques ont défoncé l'épiclive, tandis que les syncollémiques ne font qu'en remplir et incruster les cavités galéniques.

§ 24. *Des plaques de calcaire spathique qui remplissent les vides du réseau de grande structure.*

a) Leur description; plaques diaclivaires. Ces diaclives de toute espèce, notamment les principales, offrent entre leurs parois un espace tantôt vide, tantôt occupé

en partie ou complètement par quelque substance minérale différente de l'étoffe pélomorphique. Presque toujours, c'est du carbonate de chaux cristallisé. (Fig. 24 [1].)

Dès-lors les parois sont tapissées de croûtes spathiques adhérentes plus ou moins épaisses, laissant entre elles un vide plus ou moins grand. Souvent ces *plaques* arrivent presque au contact, et très-souvent encore elles se soudent en une seule et même masse cristalline qui occupe tout le vide de la fissure. (Fig. 24 [2] et 24 [3].) Il y en a de *diaclivaires*, d'*épiclivaires*, et d'autres qui correspondent aux fissures *anormales*. Lorsqu'on détache une de ces plaques de la paroi, à laquelle elle adhère hermétiquement, on reconnaît qu'elle s'est exactement moulée sur tous les détails de son relief et qu'elle présente la reproduction symétrique de tous ses accidents plastiques. Il en résulte qu'une plaque diaclivaire isolée de part et d'autre des deux parois d'une fissure, et montrant dès-lors à l'observateur ses surfaces d'insertion, se présente au premier coup-d'œil le plus souvent comme une masse aplatie, qui aurait subi elle-même une compression plastique, laquelle l'aurait tripsée de diverses manières. (Fig. 24 [4].) Or, il n'en est certainement rien, et ce n'est là qu'une illusion, qui disparaît, du reste, bien vite devant un examen quelque peu attentif.

En effet, on voit clairement que les espaces diaclivaires, très-souvent occupés par les plaques, n'en existent pas moins, lors même qu'elles s'y sont peu développées. On voit clairement qu'un corps moulé dans ces vides prendrait absolument la forme extérieure qu'elles affectent. On peut suivre la marche de leur développement, commençant, ainsi que nous l'avons dit, par deux revêtements cristallins opposés, lesquels tantôt laissent un vide entre eux, faute de substance suffisante, tantôt se rejoignent pour former une seule masse spathique. Enfin et surtout, on voit que ces plaques, étant essentiellement cristallines, ont dû être immédiatement lithomorphes, et par conséquent inaptes à percevoir des empreintes plastiques.

On trouve également des plaques spathiques dans les diaclives thlasmées et dans les diaclives tripsées. Cependant, dans les terrains où elles sont le moins habituelles, c'est surtout dans les dernières qu'elles règnent le plus fréquemment. Du reste, comme elles se trouvent moins engagées dans les surfaces planes ou cannelées des tripses, que dans les aspérités esquilleuses des thlasmes, elles s'isolent beaucoup plus aisément à l'état de plaque tripsée, et c'est sous cette forme qu'on les observe et recueille le plus fréquemment : c'est à cet état qu'elles provoquent l'attention. (Fig. 24 [4].)

Les plaques diaclivaires sont un fait presque habituel dans les terrains jurassiques. Elles occupent surtout les diaclives principales, mais elles se répètent de plus petit format dans les secondaires et les accessoires. Elles sont plus particulièrement constantes à certains étages, dans l'étoffe pélomorphique desquels l'élément cristallin joue visiblement un plus grand rôle (par exemple dans le groupe oolitique), tandis qu'elles manquent souvent à ceux où cette étoffe, plus purement vaseuse, n'accuse que peu l'élément spathique dans son intérieur (par exemple le groupe portlandien).

Ces plaques diaclivaires ne sont pas toujours simples : il n'est pas fort rare de les rencontrer doubles, c'est-à-dire réellement divisibles en deux plaques accolées. Dès-lors, si l'on examine ces sortes de plaques en place, on se convainc que non seulement leur surface d'attache aux parois reproduit les accidents plastiques de celles-ci, mais, qu'en outre, *les faces de juxta-position répètent elles-mêmes les détails de relief de l'une des parois*. Ainsi, dans la fig. 24 (5) *abcd,* qui représente la coupe d'une plaque diaclivaire, formée de deux autres *abxy* et *cdxy*, non seulement les surfaces *ab* et *cd* de la plaque totale sont moulées sur les parois respectives, mais les surfaces *xy* reproduisent les reliefs plastiques de l'une de ces parois, par exemple celle de gauche.

Cette particularité, tout en s'expliquant aisément, fournit une donnée intéressante. Voici comment la chose s'est passée. Le vide diaclivaire primitif était *cdxy,* et a été rempli par la plaque de ce nom. Un nouveau mouvement a distancé les gerbes et donné naissance au nouveau vide diaclivaire *abxy,* en détachant la plaque originaire de ce côté et la laissant adhérente de l'autre. Dès-lors la face *xy* portait le dessin plastique de *ab*, et une nouvelle plaque *abxy* s'étant développée, elle satisfait nécessairement aux conditions mentionnées. Le tout indique clairement qu'*à des époques successives, de nouveaux mouvements ont rouvert des vides diaclivaires déjà occupés.*

Un observateur attentif ne trouvera pas seulement des plaques diaclivaires doubles, mais de triples, de quadruples (fig. 24 [6]), et j'en ai vu jusqu'à des quintuples, dont les plus grandes subdivisions atteignaient un décimètre et la plaque totale jusque près de cinq d'épaisseur. Tous ces cas s'expliquent évidemment comme le précédent et en fortifient la conclusion quant à la succession des mouvements qui ont rouvert les diaclives sur certains points.

b) Plaques épiclivaires. Nous avons dit plus haut qu'il y avait aussi des épicli-

vaires, c'est-à-dire, formées le long des joints de deux assises consécutives. En effet, dans les couches relevées et dont les épiclives ont été tripsées, on voit fréquemment des plaques spathiques, minces, tripsées elles-mêmes sur leurs faces extérieures et qui ont évidemment, de même que celles des diaclives, été moulées dans les vides demeurés entre l'épiclive et l'hypoclive. On ne comprendra peut-être pas tout d'abord comment, entre deux couches, ces sortes de vides ont pu exister ou se produire; rien de plus naturel cependant, et en voici l'explication. Si l'on se représente deux assises glissant l'une sur l'autre, comme la face épiclivaire et son hypoclivaire symétrique ne sont pas des plans réels, mais souvent des surfaces ondulées et bossuées (ainsi qu'on le voit très-aisément dans les épiclives galéniques), il en est résulté que leur déplacement relatif, sous l'empire de la compression des masses supérieures, n'a pu avoir lieu que par le désemboîtement, le désengrenage de leurs reliefs et de leurs creux, le refoulement et l'écrasement plus ou moins complet des premiers, le comblement plus ou moins parfait des seconds, pour le tout offrir en moyenne une superficie plus ou moins aplanie et tripsée. (Fig. 25 [2].) Mais habituellement cette opération n'a pas eu lieu d'une manière parfaite, c'est-à-dire que le rasement des reliefs et le remplissage des cavités n'ayant pas été absolu, il est nécessairement résulté des vides qui ont été occupés par les plaques spathiques.

Dans presque toutes nos roches jurassiques, c'est le carbonate de chaux cristallisé qui joue le rôle principal et souvent exclusif à cet égard. D'autres substances ne se montrent que d'une manière subordonnée et le plus souvent sans préjudice à la présence du calcaire. La silice forme cependant aussi quelques plaques diaclivaires de petite échelle, des géodes dans les cavités, etc. Le fer se montre aussi parfois avec des caractères peut-être de même origine que nos croûtes calcaires, et il pourrait en être de même de certaines dendrites manganitiques si fréquentes à la surface des petits accidents diaclivaires et des moules de fossiles, etc. Cependant, il ne faut pas se presser de juger à cet égard, et dans les raisonnements qui vont suivre, nous n'avons spécialement en vue que les plaques calcaires, les seules réellement habituelles.

Il va sans dire qu'il n'est pas toujours aisé de distinguer, au sein de nos roches, les différents accidents minéralogiques qui peuvent être assimilés aux plaques spathiques de grande échelle, de ceux qui ont pris naissance par divers autres *processus* chimiques,

tels que notamment ceux de minéralisation des fossiles. Nous nous garderons d'aborder cette matière épineuse. Seulement, avant d'aller plus loin, n'oublions pas de remarquer que les plaques nues de toute espèce, et notamment celles de grande échelle, sont dans un rapport fréquent avec la nature minéralogique habituelle de tous les accidents internes du terrain. Ainsi, là où les fossiles ont le plus perdu leur test, les plaques diaclivaires sont plus rares; là où ils sont le mieux conservés et le plus spathisés, elles sont les plus habituelles; ailleurs, où les tests des fossiles sont siliceux, on rencontre fréquemment le quarz dans les diaclives, etc. Il y a donc un rapport évident entre les plaques et les autres faits minéralogiques des masses pélomorphes, ce qui est, du reste, bien naturel.

e) Origine des plaques. De quelque manière que l'on se représente l'étoffe pélomorphique plus ou moins pure, fluide ou chargée de corps lithomorphes, on ne peut la concevoir autrement que comme un magma formé d'une *base solide* à parties aussi réunies que l'on voudra, en suspension ou dislocation dans une *base liquide,* en général différente d'elle et non combinée avec elle.

Dès-lors, on conçoit la solidification de cette étoffe de trois manières : soit par la combinaison totale de ces deux bases, sans déperdition de principe à la manière de certains hydrates; soit par déperdition totale de la base liquide par voie d'évaporation, d'épuration ou autre; soit, enfin, à la fois par combinaison d'une partie de la base liquide et déperdition de l'autre.

Dans ces deux derniers cas, une quantité quelconque de déperdition est nécessaire; il n'en est pas de même dans le premier. Mais, comme dans un magma quelconque, il est entièrement accidentel que la base liquide se trouve sans défaut ou excès dans les proportions voulues pour une combinaison, il en résulte qu'en général le *passage de l'état pélomorphique ou lithomorphique a exigé la déperdition d'une partie de la base liquide,* et qu'en général, également, *les étoffes pélomorphiques, en tant que telles, renferment essentiellement cette base liquide dans une proportion quelconque non combinée et mécaniquement isolable* par évaporation, épuration, filtration, transsudation, etc., procédés dont les derniers sont essentiellement favorisés par la compression.

Donc, si *dans l'intérieur d'une masse pélomorphique,* surtout très-fluide, *il se trouve des cavités, celles-ci tendront à être occupées plus ou moins parfaitement par filtration,*

la quantité de ce remplissage pouvant, selon les cas, varier de zéro à occupation totale. — Donc, encore, *toute masse pélomorphique comprimée tendra à émettre au dehors, par voie d'épuration, de transsudation, une partie de sa base liquide,* dans des proportions qui dépendent des rapports entre son degré de fluidité et la puissance de la compression. C'est ce que nous avions déjà annoncé d'une manière plus générale (§ 7).

Or, les masses pélomorphiques de nos couches, incessamment chargées par le poids croissant des supérieures, ont indubitablement éprouvé une compression plus ou moins énergique, que nous avons déjà vue et que nous reconnaîtrons encore à toutes sortes de caractères. Il est donc difficile que cette compression, généralement énorme, n'ait pas eu pour effet la filtration ou transsudation, par les parties libres, d'une portion plus ou moins considérable de la base liquide de l'étoffe ; cette quantité de liquide émis a occupé les vides existants, et partant les diaclivaires, épiclivaires, etc., et s'y est maintenue, parce qu'ils étaient fermés.

De quelle nature était ce liquide transsudé ?

Nous avons déjà dit que plus l'étoffe solide actuelle est chargée de calcaire à l'état spathique, et plus les diaclives sont habituellement occupées par les plaques spathiques. — Elles remplissent précisément tous les vides que la transsudation a dû remplir, et aucune autre substance ne les occupe habituellement. — On ne les voit qu'exceptionnellement dans des positions où le mécanisme pélomorphique n'indique point qu'une vacuité a dû préexister. — Elles manquent dans les parties originairement continues ou en contact hermétique, et y apparaissent dès qu'une couche quelconque a produit interruption de ce contact ou solution de cette continuité. — La plupart des vacuités qu'elles comblent ont pris naissance à une époque où l'on sait, par d'autres considérations, qu'il y avait pélomorphisme et compression. — Leur position démontre presque toujours qu'elles ne sont point dues à une marche moléculaire, à un jeu d'affinités chimiques dans le sein du magma pélomorphique. — Se trouvant dans des vides fermés, elles étaient à l'abri des intrusions étrangères et n'offraient, en effet, rien qui les indique. — Enfin, différant essentiellement du reste de l'étoffe pélomorphique de leurs propres parois, elles ne peuvent provenir d'un comblement mécanique par la substance de celle-ci.

On est donc conduit à admettre, avec une extrême probabilité, à la fois que la *base*

liquide de l'étoffe tenait en solution le carbonate de chaux, et que *les plaques spathiques sont nées de la transsudation par compression*.

Il est, également, à peu près impossible de douter que l'eau proprement dite n'ait été l'un des éléments principaux de cette base liquide. Donc, enfin, on arrive à la regarder comme de l'*eau chargée de calcaire en proportions prédominantes*, sans préjudice à quelques autres principes qui n'y ont joué qu'un rôle accessoire dans la minéralisation finale. Ce liquide, isolé par filtration dans les cavités diaclivaires et autres, y cristallisait par évaporation, donnant naissance aux croûtes, plaques, druses, géodes, etc., de calcaire spathique qui les occupent. Néanmoins, la présence et la quantité de principe calcaire pouvant avoir lieu dans la base liquide, transsudée à des degrés très-différents, et la transsudation elle-même en des proportions variables selon les cas, il en est résulté, quant au remplissage, toutes les variations possibles entre la non-présence et l'occupation presque complète, les cas intermédiaires étant les plus fréquents[1].

Du reste, il peut se faire, en outre, que la présence de quelques autres substances, qui jouent dans le remplissage spathique un rôle accessoire et accidentel, comme certaines combinaisons de fer et de silice, soit également sous la dépendance de la transsudation. Cependant, c'est ce que nous ne voudrions point affirmer.

En outre et réciproquement, il résulte de ce qui précède, que *là où le développement des plaques spathiques peut se rapporter à certains mouvements des massifs, il démontre chez celles-ci, à l'époque de ces déplacements, un état tel qu'ils ont pu fournir transsudation par compression, c'est-à-dire, un degré quelconque de pélomorphisme.*

Enfin, rappelons que tout ce que nous venons de dire est sans préjudice aux jeux d'affinité chimique intérieurs à l'étoffe, indépendants de toute filtration dans les vacuités. Ces jeux d'affinité ont isolé des minéralisations au sein du magma, groupé des cristaux, des dendrites, formé et aggloméré des masses réniformes, etc. Un des caractères par lesquels leurs groupements diffèrent assez habituellement de ceux de la nature des plaques, géodes, etc., c'est que leur densité va en augmentant de la cir-

1. Au dire des carriers de plusieurs endroits du Jura central, on trouve assez fréquemment des géodes calcaires engagées dans les massifs et sans aucune communication avec l'extérieur, occupées par un liquide, qui a entièrement l'aspect de l'eau. Je n'ai encore pu constater la réalité de ce fait, qui ne serait pas sans intérêt.

conférence au centre, tandis qu'au contraire, dans ces derniers, l'irradiation a eu lieu du centre, qu'elle a souvent laissé vide, vers la périphérie.

§ 25. *Jusqu'à quel point les différentes pélomorphoses décrites ci-dessus se retrouvent dans les différents terrains du Jura.*

Le degré de présence, de développement et en quelque sorte de perfection, avec lesquels les accidents plastiques se retrouvent dans les diverses roches de nos contrées, dépend entièrement et exclusivement de la nature de leur étoffe pélomorphique. Si l'on se rappelle ce que nous avons dit au § 11 des degrés de plasticité des diverses étoffes, on comprendra aisément ce qui va suivre, sans le faire précéder de nouveaux développements.

Les pélomorphoses sont les mieux caractérisées dans les calcaires compactes conchylien, corallien, portlandien, et dans certaines subdivisions compactes du groupe oolitique.

Elles le sont encore très-clairement, quoique moins nettement, dans la majeure partie des calcaires non compactes de diverse texture, notamment oolitiques, du néocomien et du groupe jurassique inférieur.

Elles sont beaucoup moins accusées dans toutes les divisions marno-compactes et surtout marneuses de l'oxfordien, du néocomien, du keupérien, du liasique, etc.

Elles ont presque disparu dans les grès bigarrés, et se montrent, en général, peu dans toutes les petites assises d'origine sableuses des divers niveaux. Elles sont à peu près nulles dans les molasses.

On les retrouve, quoique faibles, dans les calcaires d'eau douce.

Dans ces divers terrains, ceux dont l'étoffe rocheuse est encore, à cette heure, le plus chargée d'élément spathique, offrent le plus habituellement les plaques diaclivaires. Telles sont certaines subdivisions du groupe oolitique, du néocomien, du liasique.

Partout, même dans les cas les plus défavorables, on rencontre des traces de pélomorphoses. C'est ainsi que, jusque dans les molasses, des épiclives argileuses se montrent, dans les parois diaclivaires, élégamment tripsées et alternant avec des lits molassiques entièrement mats. C'est-à-dire que les causes dynamiques de ces accidentations plastiques se sont également exercées dans toute la série. Ils sont, du moins

dans le Jura central, un fait général, mais dont les résultats se sont plus ou moins formulés ou maintenus, selon le caractère de l'étoffe sédimentaire. — Nous disons dans le Jura central, parce nous n'avons pu nous livrer à l'examen du genre de faits dont il s'agit dans ce chapitre, que dans la partie du Jura qui s'étend du Rhin et du pied des Vosges au bassin suisse, à peu près dans le quadrilatère Mulhouse, Soleure, Bienne, Villersexel; mais nous ne doutons pas qu'il n'en soit de même dans tout le reste du Jura et partout ailleurs dans les mêmes terrains.

§ 26. *Des pélomorphoses précédentes, envisagées dans les diaclives et épiclives secondaires et accessoires.*

Dans tout ce qui précède, nous avons eu particulièrement en vue ce qui se passe dans les parois diaclivaires et sur les surfaces épiclivaires principales; cependant, nous avons déjà averti que cela est entièrement applicable aux divisions analogues des massifs, que nous avons décrites sous la qualification de secondaires et accessoires: voyons cependant maintenant plus spécialement jusqu'à quel point cela a lieu.

Les thlasmes et les tripses diaclivaires tapissent toutes les parois secondaires avec tous les caractères énumérés, sauf qu'ils y sont habituellement de plus petite échelle, c'est-à-dire de plus petite dimension quant à leur relief, ce qui, dans les accessoires, va encore en diminuant. Ainsi, les esquilles sont plus courtes et les cannelures moins profondes, arrivant respectivement jusqu'à un aspect pulvérulent microcospique et jusqu'à un dessin d'une extrême ténuité; en outre, les faits caractérisés d'une manière intermédiaire se multiplient, et les thlasmo-tripses deviennent plus communs. Les xécollèmes sont beaucoup plus rares. Les vides diaclivaires diminuent jusqu'à presque nullité, puis adhérence. Les plaques diaclivaires s'amincissent, par conséquent, en proportion jusqu'à la forme de feuillet très-mince, jusqu'à l'état de rosée cristalline miroitante, d'une épaisseur à peine appréciable. Les épiclives secondaires présentent rarement des tripses, et, par conséquent, des plaques, vu que les subdivisions d'une couche n'ont que rarement subi de déplacement relatif; en revanche, elles offrent encore fréquemment des diapérasmes, mais de plus petit format que ceux du contact de deux assises proprement dites.

Ce qui précède suffit entièrement pour donner une idée de l'état des accidents

plastiques dans les divisions secondaires et accessoires. Malgré l'extrême diversité de formes qui y règne, toutes rentrent dans les diagnoses que nous avons esquissées, pour les diaclives et épiclives principales.

§ 27. *Des pélomorphoses précédentes, envisagées dans les ruptures pélomorphiques anormales.*

Toutes s'y retrouvent, et peut-être, en général, plus puissamment caractérisées encore que dans les divisions régulières. Cependant, dans ces sortes de cas, les solutions de continuité, n'ayant qu'exceptionnellement porté à distance les parois des masses divisées, les thlasmes et les xécollèmes y sont exceptionnels, tandis que les résultats de froissement puissant, avec fort déplacement relatif, y sont habituels : tels sont les tripses qui s'y montrent cannelés avec une grande vigueur, mais sur des surfaces inégales et avec des plaques plus interrompues correspondant aux vides permis précisément par cette inégalité. On peut voir de ces sortes de ruptures pélomorphiques irrégulières dans beaucoup de carrières du Jura, où elles se font remarquer le plus souvent par leur obliquité, leur discordance et la puissance d'accidents de leur superficie froissée; elles forment souvent des crans de petite échelle, qui leur a valu la dénomination de *cavaliers* (§ 12 *d*), de la part des carriers, dont elles contrarient les travaux. Il va sans dire que les mêmes faits se montrent également dans les failles de grande échelle ou orographiques, et dans celles d'ablation : nous les y retrouverons en parlant bientôt de ces faits, mais nous avons dû en dire un mot ici en général, pour être fidèle à notre cadre méthodique.

§ 28. *Des couches ployées, envisagées comme pélomorphoses.*

Parmi les résultats auxquels a pu donner lieu l'état pélomorphique des terrains, il en est un de première importance que nous avons maintenant à examiner : c'est la courbure.

Nul doute qu'une couche, jouissant d'un certain degré de mollesse sédimentaire, n'ait été susceptible de ploiement sans rupture : nous pensons que personne ne le révoquera en doute.

Il ne nous paraît pas moins évident qu'une couche consolidée, telle que nous en

voyons actuellement, de calcaire compacte, par exemple, bien qu'elle puisse, mathématiquement parlant, jouir d'une certaine flexibilité, ne saurait, quelque force qu'on y suppose appliquée, prendre et *conserver* une courbure quelconque, ou du moins une courbure quelque peu forte et appréciable à l'œil. Par exemple, on ne prétendra pas qu'en appliquant à un banc calcaire, de sept mètres de longueur, des forces quelconques pour le fléchir, on parviendra à lui faire prendre une courbure qui ferait un arc comptant, entre son milieu et celui de sa corde, une distance perpendiculaire de sept décimètres. (Fig. 25.)

Donc, là où l'on trouve des couches sensiblement courbes, il est nécessaire d'admettre qu'elles n'ont pris cette forme que moyennant un degré quelconque de mollesse, de pélomorphisme, soit originaire, soit ramené, si l'on veut, après solidification, par un ramollissement postérieur.

Il va sans dire que nous parlons ici de courbures réelles, à élément continu, et non de polygonation correspondant à des fissures diaclivaires aussi rapprochées que l'on voudra.

Or, des couches courbes, des systèmes tout entiers d'assises calcaires ainsi ployées, sont habituels dans les dislocations jurassiques, où ils jouent un rôle orographique principal.

Tout en faisant au réseau diaclivaire la part des facilités qu'il a pu donner au recourbement des massifs, il n'en reste pas moins certain que l'élément de courbure continu règne généralement dans les voûtes et autres ploiements jurassiques, et ce, jusque dans les derniers détails de leurs assises. Il y a plus, c'est que précisément, dans les massifs ployés, la division diaclivaire semble très-souvent jouer un rôle moindre que dans les masses horizontales, comme si les traits en avaient été altérés, effacés par compression et réagglutination dans le jeu relatif des gerbes et sous l'action mutuelle de leurs énormes pesanteurs. — Il y a, dans la *vue* de ces sortes de faits sur le terrain, un élément de conviction que nous ne pouvons traduire par la parole, ni faire passer dans l'esprit du lecteur. Mais nous pensons qu'un observateur, qui aura passé quelques heures à examiner attentivement les plis de l'une ou l'autre de nos vallées transversales, mettant à découvert la structure voûtée d'une chaîne jurassique, acquerra la conviction profonde qu'il y a là un fait de ploiement et non un fait de polygonation.

Rien de plus commun, du reste, que des assises courbées, observables de près et sur une petite échelle. C'est à peine s'il existe un ravin traversant quelque flanquement de chaîne et en montrant la structure sur un plan sécant, où l'observateur ne puisse constater des courbures de couches plus ou moins fortes, d'élément parfaitement continu et nullement à jarrets diaclivaires; en plaçant rapidement son bâton de voyage entre ses yeux et la roche, de manière à lui faire servir de corde à l'arc de la courbure, il remarquera aisément et mieux cette dernière, qui lui aurait parfois échappé.

Il ne rencontrera pas fréquemment, il est vrai, des courbures de très-court rayon, et la raison en est simple : c'est que l'accidentation a eu lieu, dans le Jura, sur une échelle toute orographique, et qu'il n'y existe, pour ainsi dire, qu'un seul grand ploiement pour chaque chaîne, ploiement exercé, du reste, sur une puissance énorme de terrains. Cependant, il ne manque pas d'exemples de petites voûtes à courbure forte, mises à découvert à la partie interne et inférieure des ploiements : on en voit dont la courbure équivaut à celle d'un arc de cercle de deux mètres de rayon et même moins, et où l'on saisit encore très-clairement l'élément continu de la courbure sur des longueurs de moins d'un décimètre. (Fig. 26.)

Du reste, répétons-le : quiconque aura traversé et étudié avec quelque attention la structure découverte de l'une de nos grandes voûtes jurassiques, jugera inutile que nous insistions davantage sur ce point, par la raison que la physionomie seule de ces grands accidents, la mollesse des courbures qu'ils dessinent, la continuité plastique des flexions de détail et l'absence de fissures diaclivaires, précisément aux points les plus anguleux, lui laisseront, mieux que tout raisonnement, la conviction de l'impossibilité de semblables résultats sans le concours d'un degré quelconque de pélomorphisme dans les terrains, aussi peu fluides qu'on veuille le supposer. (Fig. 27.)

A nos yeux, le fait des tripses épiclivaires, que nous avons décrit ailleurs, ne serait même pas nécessaire pour arriver à cette conviction. Toutefois, nous le rappellerons ici au lecteur à qui il resterait quelque doute. Partout, dans les grandes courbures, où les épiclives sont si souvent découvertes sur de vastes superficies, ils viennent, par leurs cannelures dans le sens de la plongée et par leurs plaques spathiques, révéler les facilités de mouvement que donnait l'état pélomorphique aux masses, sur lesquelles s'exerçait l'agent de dislocation.

Ces tripses épiclivaires ne pouvaient prendre naissance sans le glissement relatif des couches, provoqué d'un côté par leur relèvement, de l'autre par la petite quantité de mouvement dans le sens de la plongée, que permettaient les vides diaclivaires, perpendiculaires à celle-ci. Aussi, les tripses épiclivaires ne commencent-ils guère à se montrer que moyennant des inclinaisons supérieures à quinze degrés, limite à laquelle ils sont encore rares; ils deviennent ensuite d'autant plus habituels, que les angles sont plus forts. En outre, en même temps et dans la même proportion, les parois des diaclives perpendiculaires à la plongée se montrent rétrécies, refermées par le glissement des couches, de façon que leurs thlasmes sont souvent, soit plus réengagés par leurs esquilles, soit effacés et transformés en *tripses ondulés,* par la simple compression des parois, non accompagnée de déplacement relatif dans le sens de leurs plans. C'est même dans cette situation particulière que les tripses ondulés, dont nous n'avions pu reparler jusqu'à présent, sont le plus habituels, le plus normaux. On les remarque d'autant mieux dans certaines parties du Jura (Jura central) que, par suite du sens général des plongées anticlivaires au nord ou au sud, dans la direction des premières diaclives principales (tripsées), ce sont les secondes principales (thlasmées) qui ont été ainsi modifiées. — Il est clair, du reste, que tout ce jeu de glissement, avec ses conséquences plastiques, accuse non moins que les grandes courbures, dont ils ne sont qu'une conséquence, l'état pélomorphique des massifs. (Fig. 28.)

Bref, nous pouvons donc consigner ici la conclusion qui est le seul but de cet article, c'est que : *partout, dans le Jura, les ploiements des couches sont une véritable pélomorphose, accusant nécessairement un certain état de mollesse sédimentaire dans les massifs qui les ont subis.* Rien n'empêche, du reste, que, d'un étage, ou d'un district jurassique à un autre, il n'y ait eu des différences qui seront reconnues plus tard.

§ 29. *De la compression des couches, envisagée comme fait relatif au pélomorphisme.*

Nous verrons plus tard que, dans la plupart des couches jurassiques et dans certaines assises plus particulièrement, soit qu'on envisage ce qui s'est passé à l'état horizontal par le poids des masses supérieures, seul ou secondé par d'autres forces, soit que l'on considère ce qui a eu lieu à l'état d'inclinaison, avec le concours d'agents soulevants, il s'est fréquemment produit des réductions de volume par compression,

lesquelles sont mises en évidence par des écrasements de fossiles, des déjètements de diaclives, des mesures comparatives directes, etc. Bien que tous ces faits n'accusent pas partout essentiellement ou exclusivement la plasticité pélomorphique et que, même à certains égards, celle-ci ait été souvent moins favorable à la production de leur maximum qu'un certain état clastique permettant tassement, il n'en est pas moins vrai qu'elle a été partout un élément de mobilité qui les a facilités comme fait général. Aussi devons-nous le consigner ici, remettant à plus tard des développements qui, en ce moment, seraient une anticipation.

§ 30. *Du pélomorphisme des roches, envisagé dans les facilités qu'il a fournies aux ablations orographiques.*

Si, comme nous l'avons vu tout-à-l'heure à propos des ploiements de couches, certaines grandes dislocations ont eu lieu à une époque où les roches jouissaient encore de l'état pélomorphique à un certain degré, nul doute que cet état n'ait, en même temps, apporté des facilités particulières aux déchirures de couches, lacérations des massifs, désagrégations, dissolutions, transports, ablation et disparition des débris. Tous les phénomènes de division mécanique, d'atténuation des parties, de décomposition chimique, ont évidemment été plus aisés, s'exerçant sur des masses à l'état de mollesse sédimentaire, qu'ils ne le seraient sur les masses à l'état lithomorphique actuel. Mais ici, tous les faits, secondés par le pélomorphisme, n'ayant eu pour résultat final que l'ablation, on ne s'attendra pas à en trouver quelque expression plastique particulière : nous verrons cependant tout-à-l'heure qu'il en existe des traces. Tout ce que nous savons, c'est que des masses énormes de terrain ont disparu à des époques relatives, qui restent à déterminer, mais parmi lesquelles il y en a eu, notamment celle des ploiements, où le pélomorphisme existait encore. Dès-lors, bien que nous ne sachions rien de *positivement observable* sur le rôle qu'a joué la mollesse sédimentaire, nous ne pouvons le révoquer en doute et nous devons, dès-lors, le consigner ici à son rang dans notre examen des faits, auxquels il a eu une part.

Toutefois, si nous avons dit que le rôle essentiellement négatif du pélomorphisme, dans les faits d'ablation orographique, n'est point observable en général, c'est plutôt de peur d'être accusé d'en exagérer les preuves. En réalité, son existence, au moment

de certains grands enlèvements de massifs, est révélée de diverses manières. Nous verrons tout-à-l'heure qu'il s'est formé des galets pélomorphiques à une certaine époque d'ablation. A une autre époque, où ces sortes de galets ne se sont probablement pas développés et où, au contraire, tous les débris ont disparu, il est resté sur les massifs en place, aux surfaces dont ont été détachés les massifs enlevés, des preuves de l'état de mollesse au moment de cette ablation. Ces faits ne sont rien moins que rares, et les deux figures suivantes donneront l'idée, non pas seulement de deux exemples particuliers, mais de deux catégories tout entières de faits, qui se sont répétés sur une foule de points, avec les caractères plastiques que nous allons signaler, et qui seront dès-lors à leur place ici.

Ainsi, dans la fig. 29 (1), qui représente l'encaissement d'une vallée d'ablation, le massif *abd* s'est détaché du massif principal, avec lequel il faisait corps, comme l'indique le pointillé, et a glissé le long de la surface *cab*. Ceci n'a évidemment pu avoir lieu, qu'en tant que le vide, qui forme la vallée, existait, c'est-à-dire durant, ou après ou à la faveur de l'ablation qui a donné naissance à cette vallée. Or, la surface *cab* a été largement et profondément tripsée, comme la pente de son plan, avec tous les caractères pélomorphiques les mieux accusés. Voilà donc un fait plastique pélomorphique, dépendant des grandes ablations orographiques : ces sortes de surfaces sont fréquentes dans le Jura.

Dans la fig. 29 (2), qui représente également la berge gauche d'une vallée d'érosion, la portion pointillée a été enlevée, soit en bloc, soit (ce qui est plus naturel) à la faveur d'une première fissure *xy*, d'abord agrandie, ce qui a ensuite permis au restant du massif ablationné, de glisser le long de la surface de détachement. Ici, les diaclives successives ont favorisé la solution de continuité, et ont mis au jour des thlasmes en *ab*, *a'b'*, etc. Mais le poids du massif glissant a d'abord, non seulement tripsé les épiclives *ad'*, *a''d''*, etc. (ce qu'on pourrait attribuer au soulèvement même des massifs demeurés en place), mais encore *étêté* les assises, en enlevant de chacune d'elles des prismes *dcb*, *d'c'b'*, etc., et en tripsant les surfaces irrégulières et nullement diaclivaires *db*, *d'b'*, etc., dans le sens de la pente. C'est-à-dire que, encore ici, comme tout-à-l'heure, il y avait pélomorphisme, soit pendant, soit après l'ablation principale, et qu'en tout cas, les tripses signalés sont sous la dépendance de celle-ci. On pourrait

appeler *tripses anormaux* ces sortes de résultats plastiques, qui sont totalement différents des diaclivaires et des épiclivaires.

En réalité, ce ne sont là que des phénomènes de glissement ou de *cavaliers* (§ 12 *d*), dont nous reparlerons plus tard. Mais nous avons dû les consigner ici comme fait pélomorphique, dépendant des ablations. Nous reprendrons ailleurs les conséquences qui en résultent. En attendant, énonçons la conclusion de cet article, c'est que : *à l'époque de certaines grandes ablations, il y avait pélomorphisme.*

§ 31. *Des failles, eu égard uniquement au pélomorphisme.*

Les failles sont essentiellement un fait de déplacement relatif de deux masses, en grand ou en petit, et nous les examinerons ailleurs à ce double point de vue. Mais, dans notre examen des faits de plasticité révélateurs de la mollesse sédimentaire des roches, nous devons en dire d'abord un mot ici au point de vue des résultats pélomorphiques, auxquels elles ont donné naissance. Il peut y avoir des failles de diverses époques; cependant la plupart, lorsque leurs surfaces de frottement sont accessibles à l'observation, montrent celles-ci tapissées de tripses, soit planes et polis, soit cannelés. Tantôt c'est une diaclive qui a partiellement fourni son jeu à la faille, et alors elle se montre pourvue de tripses qui, bien que diaclivaires par leur situation, ne le sont plus en réalité. Tantôt et souvent c'est une fracture irrégulière, qui a fourni le jeu et dont les parois ont reçu le froissement. La seule chose qui, pour le moment, nous importe ici, c'est de remarquer que tous ces accidents, de même que ceux de l'article précédent, rentrent entièrement dans ceux que nous avons déjà envisagés au § *d*, sous le titre de *ruptures pélomorphiques anormales.* — Nous pouvons aussi conclure que, *durant la formation de certaines failles de différentes échelles, il y avait pélomorphisme.*

§ 32. *Des galets pélomorphiques.*

Représentons-nous les débris d'un massif pélomorphique, amenés comme le sont de nos jours les débris pierreux de nos roches au contact des eaux, et partant des causes qui font de celles-ci l'agent de la transformation de ces débris en galets ou cailloux roulés; qu'adviendra-t-il? Il arrivera d'abord que, parmi les blocs et frag-

ments à l'état mou, ceux qui n'offrent pas une consistance suffisante, ne pourront supporter le mouvement, seront désagrégés, triturés et atténués jusqu'à pulvérisation (sans parler des éventualités de décomposition), transformation en dépôt de forme nouvelle ou dispersion par translation. Ensuite, au contraire, que ceux des fragments, auxquels leur consistance permet le mouvement et le roulis, prendront plus ou moins parfaitement, et avec une rapidité particulière, la forme finale de galets. Mais il arrivera aussi nécessairement que ceux de ces derniers galets, dont la consistance n'est pas assez grande pour résister à un choc, sans en recevoir des empreintes, en recevront de la rencontre et de la juxta-position avec d'autres, toutes les fois que quelque mouvement de translation, de chute, de compression, communiquera à ces derniers une force suffisante. De là naîtront, en définitive, des galets plus ou moins bien roulés, chargés de contusions, d'empreintes, de froissements, en un mot de tripses, c'est-à-dire, enfin, des galets tripsés. (Fig. 31 *a*.)

Or, c'est exactement et de tous points, avec ces caractères, que se présentent les galets de certains nagelfluhs (gompholites) jurassiques, disséminés par petits dépôts sur un assez grand nombre de points du Jura. Ceux qui sont composés de roches des assises jurassiques supérieures, sont peut-être les mieux caractérisés à cet égard, et il y a probablement de ces nagelfluhs de diverses époques, ce qu'il est inutile d'examiner ici. Les mieux caractérisés, ceux des roches jurassiques récentes, reposent aussi sur ces mêmes roches, des ablations desquelles ils proviennent évidemment, et ils sont immédiatement suivis du terrain tertiaire tongrien, ce qui, sans leur donner une date exacte, les place dans une certaine période et permettra d'en tirer parti au point de vue de l'histoire du pélomorphisme ; ici nous ne voulons parler que de leurs accidents de plasticité.

Non seulement ces galets sont généralement couverts de tripses, mais on en rencontre souvent de comprimés, de refoulés, de recourbés. On en voit aussi qui sont à demi traversés d'une cassure, opérée par un ploiement, une tension courbe, auxquels leur degré de pélomorphisme n'a pas entièrement résisté, mais de telle manière que la solution de continuité n'ayant pas été complète, elle n'a pas isolé les morceaux qui restent encore liés par la partie de leur masse non divisée. (Fig. 31 *b*.) La très-grande majorité de ces galets n'offrent, du reste, à leur surface aucune altération. Tout au plus

y voit-on, chez un certain nombre d'entre eux, une légère teinte autrement nuancée que l'étoffe, comme cela se remarque à la superficie météoriquement altérée de beaucoup de roches stratifiées.

Le plus souvent ils sont libres ou mal agrégés par des sables divers de même nature qu'eux ou de nature différente. Souvent ils sont aussi cimentés entre eux par un véritable calcaire, d'aspect tertiaire, auquel la roche finit par passer entièrement. D'un autre côté, lorsqu'on peut observer leurs rapports avec la base jurassique, sur laquelle ils reposent, on les y voit enchâssés, liés par des empreintes profondes et dans le cas d'inclinaison, par des tripses de glissement très-bien caractérisés. (Fig. 31 *c. d.*)

Le tout, enfin, se montre, comme s'ils s'étaient développés aux dépens des lacérations de leur base, au moment où celle-ci était encore pélomorphe, et comme s'ils avaient été, les uns immédiatement, d'autres beaucoup plus tard, cimentés par l'apparition de certains calcaires tertiaires. Nous y reviendrons plus tard, à l'occasion de la durée du pélomorphisme.

Ajoutons seulement que, dans un même dépôt de ces galets, provenant des subdivisions d'un même étage, ce ne sont pas, comme on pourrait le penser, les plus anciens qui (étant présumés, toutes choses égales, plus consolidés) offrent le moins d'empreintes et les plus récents davantage : il ne paraît pas en être ainsi. Le degré auquel ils se montrent chargés de contusions plastiques, paraît uniquement en raison directe du degré d'aptitude pélomorphique de chaque roche. Ainsi, dans un dépôt de galets coralliens, astartiens, ptérocériens et virguliens, les lumachelles et dolomies (fausses), astartiennes, spathiques et sableuses, ont perçu moins d'empreintes que ne l'ont fait les calcaires coralliens compactes, non moins chargés, du reste, de contusions, que les calcaires ptérocériens d'étoffe analogue.

§ 33. *De certains gisements du sidérolitique, eu égard au pélomorphisme.*

Au moment où se déposaient les pisolites ferrugineux et sur les points où leurs grains se trouvaient en contact avec la roche jurassique sous-jacente, il est souvent arrivé qu'ils se sont enchâssés dans sa pâte pélomorphique. Tantôt celle-ci les a entourés de toutes parts, tantôt elle ne les a pas enveloppés et ils reposent à sa superficie, dès-lors impressionnée par eux de diverses manières, indiquant soit le repos,

soit une faible translation. Ce sont ces *tripses sidérolitiques* que nous tenons à consigner ici. Ils indiquent qu'*à l'époque du dépôt de la mine-en-grains*, du moins sur certains points (et ces points sont nombreux), *la roche jurassique jouissait de l'état de mollesse sédimentaire*, et que même le dépôt s'en continuait dans certains cas. Du reste, à part l'importance de cette date, les rapports des grains lithomorphiques de la mine de fer avec la pâte pélomorphique sont très-analogues à ceux des oolites des diverses époques avec leur étoffe sédimentaire.

§ 33 *bis*. *Récapitulation des pélomorphoses examinées.*

Avant de clore cette section, résumons les divers genres de pélomorphoses dont nous nous sommes occupés.

Pélomorphose par dépôt tranquille (surfaces épiclivaires, modelages divers) — Galénies.
» par compression sans mouvement latéral — Tripses ondulés (ou thlipses).
» de rupture par tractions opposées — Thlasme.
» par décollement — Xécollèmes.
» par collement — Syncollèmes.
» par pénétration mutuelle — Diapérasmes.
» par le roulis des eaux — Galets pélomorphiques.
» par ploiement des massifs — Strates courbes.
» par réduction d'épaisseur dés massifs — Strates comprimés.



CHAPITRE IV.

MISE EN RAPPORT DES PÉLOMORPHOSES ET DES MOUVEMENTS QUI LEUR ONT DONNÉ NAISSANCE DANS LES MASSIFS HORIZONTAUX.

---

§. 34. *Des positions relatives des thlasmes, tripses, etc., envisagées en général.*

Lorsque, dans une carrière bien découverte, on s'applique à observer tous les accidents de plasticité régulière précédemment décrits, tant diaclivaires qu'épiclivaires, malgré un certain nombre d'exceptions, on se rend bientôt compte de la prédominance de certains rapports de situation de ces divers accidents.

Ainsi, l'on voit le plus souvent :

1° Que, si les terrains sont horizontaux, les épiclives sont demeurées intactes de tripses, mais non de diapérasmes ;

2° Que, si les épiclives sont défoncées par des diapérasmes, on voit régner dans les diaclives des tripses verticaux ;

3° Que, très-habituellement, les premières diaclives principales sont tripsées horizontalement, tandis que les secondes principales correspondantes sont thlasmées ;

4° Que, lorsque les couches sont très-inclinées, les épiclives sont très-souvent tripsées dans le sens de la plongée, qu'il en est de même des diaclives dont les plans courent comme cette plongée, et que celles d'équerre sont ou thlasmées ou tripsées à ondulations, etc., etc.

En général, on s'aperçoit aussitôt que, partout où une gerbe, sans être déplacée de sa base, a éprouvé un mouvement par rapport aux adjacentes, cela a eu lieu à la faveur de vides diaclivaires, demeurés béants et thlasmés, avec frottement des diaclives d'équerre à ces vides, frottement produisant des tripses de sa direction ; que partout où une gerbe, à l'aide de l'inclinaison, a glissé sur une base épiclivaire, elle a tripsé celle-ci et les diaclives latérales voisines de cannelures courant comme la plongée ; que partout où une gerbe a pu se mouvoir verticalement par suite de faille, de compression, de réduction de volume indiquée par les diapérasmes ou corps orga-

niques aplatis, les diaclives au contact sont tripsées verticalement ; que partout, enfin, où, dans le réseau diaclivaire, il y a eu commotion, déplacement relatif permanent ou momentané, crans ou faille de toute échelle, il y a eu constamment détermination de thlasmes là où une solution de continuité est demeurée béante (originairement), et production de tripses là où il y a eu frottement, ces thlasmes et ces tripses devant fréquemment, mais non nécessairement, se trouver dans des plans diaclivaires d'équerre entre eux, les cannelures accusant le sens des mouvements, les diapérasmes la réduction de volume, les xécollêmes, les esquilles syncollémiques et les plaques doubles la réitération des mouvements, etc.

Donc, enfin, de l'investigation de ces faits résulte clairement l'indication d'une multitude de mouvements éprouvés par les massifs à l'état sédimentaire et parmi lesquels jouent le rôle principal : 1° Les mouvements dus à l'effet de la compression, successivement produite par le poids incessamment croissant des couches supérieures : ils sont particulièrement accusés par les tripses diaclivaires verticaux et les diapérasmes. 2° Les mouvements dus aux ébranlements qui ont froissé les gerbes les unes contre les autres : ils sont particulièrement accusés par les tripses diaclivaires horizontaux, sans tripses épiclivaires. 3° Les mouvements dus aux changements de niveau des massifs, qui ont souvent déterminé le glissement des assises sur les épiclives : ils sont particulièrement accusés par les tripses épiclivaires, courant comme la plongée. — Examinons de plus près chacun de ces trois cas.

§ 35. *Des mouvements dus à la pression des couches supérieures sur les inférieures.*

Evidemment, cette pression s'est exercée ; ne nous fût-elle révélée par aucun détail des structures actuellement observables, elle ne saurait être révoquée en doute. Elle a dû tendre nécessairement à produire réduction d'épaisseur là où la nature de l'étoffe et autres circonstances rendaient la chose impossible ; elle a pu aussi souvent déterminer des écrasements et des morcellements là où le degré de solidification ne permettait que ce genre de résultats. Pour chaque couche envisagée en particulier, elle a dû aller en croissant avec l'empilement successif des terrains ; et, si l'on se représente la consolidation lithomorphique comme s'opérant elle-même graduellement, on se rend compte que la plus grande hydration originaire de chaque couche a correspondu

à la moindre pression, et, au contraire, la plus faible à la pression maximum. De façon que, parmi les faits dépendant de la compression, les plus purement plastiques seraient les plus anciens, et ceux qui annoncent un rapprochement de l'état lithomorphique seraient les plus récents.

Les faits, qui dépendent tout particulièrement de la compression verticale dans les couches en place, sont : 1° La réduction d'épaisseur par augmentation de densité; comme le démontre l'écrasement des fossiles. Cet écrasement est fréquent dans certaines couches, et à peine sensible dans d'autres, ce qui indique des différences, non pas dans l'intensité de compression, mais dans la compressibilité des diverses étoffes. Nous ne connaissons aucune manière de l'évaluer avec quelque probabilité. La réduction des axes connus de coquilles comprimées indique bien un minimum dans une couche donnée, mais la somme de ces réductions dans un système ne fournit nullement avec sûreté le chiffre de compression total, puisque la réduction dans diverses couches peut n'être que la répétition par transmission d'une quantité, qu'il ne faut compter qu'une fois. Du reste, nous verrons plus loin un autre moyen d'arriver plus approximativement à ce genre de détermination. Et puis, nous verrons aussi que l'écrasement avec aplatissement des fossiles dans la même couche a été quelque chose de très-inégal. — 2° Les diapérasmes, qui accusent un assez notable degré de fluidité dans l'étoffe sédimentaire ; bien que leurs présence, absence, multiplicité et dimensions paraissent dépendre autant de la nature de cette étoffe que du degré de compression, le concours de cette dernière a été nécessaire ; de façon que les diapérasmes, ou défoncements partiels d'une assise par la précédente, *n'ont pu prendre naissance qu'après tout le temps qu'il a fallu pour charger la supérieure d'un poids suffisant.* — 3° Le morcellement de certaines étoffes par une multitude de fissures irrégulières à parois froissées et tripsées verticalement. — 4° Le tripsage vertical dans une gerbe donnée de beaucoup de diaclives secondaires et accessoires, accidentation dont l'origine est clairement accusée (quant au concours nécessaire d'une force verticale), par la forme fréquemment arquée des subdivisions de gerbes, qui ont évidemment fléchi sous le poids des massifs supérieurs : nous verrons bientôt que, dans ce cas, la pesanteur n'a probablement agi que comme composante. — On le voit : *aucun de ces effets n'accuse une grande quantité de déplacement relatif.* Mais il y a cette différence entre la com-

pression des masses et les autres facteurs de mouvement, que nous examinerons, que l'*action verticale de la première a été permanente, tandis que les dernières n'ont agi que momentanément*.

Ici vient encore une remarque importante. La réduction d'épaisseur de l'étoffe pélomorphique n'a pu être une réduction de volume proprement dite, que dans une médiocre proportion. Comme l'étoffe n'a pu s'étendre dans les deux dimensions horizontales, la réduction d'épaisseur suppose la disparition, par une voie quelconque, d'un certain volume, soit des gaz, provenant de la décomposition organique des fossiles, soit des liquides qui imprégnaient l'étoffe en excès. Or, le même phénomène, qui a permis la vaporisation d'une partie de ces derniers, pour donner naissance au retrait, a dû, en même temps, favoriser la réduction de volume en général. Puis, une fois les fissures diaclivaires ouvertes, la compression a pu diminuer encore les épaisseurs par transsudation latérale des liquides dans ces vides, dès-lors aptes à les recevoir en une certaine mesure. Toutefois, ces divers moyens de diminution de volume, rendant possible une réduction d'épaisseur, sans extension des autres dimensions, ne paraissent pas avoir pu réaliser des résultats très-importants, car, du moins en général, ces réductions, quoique parfaitement certaines, sont, relativement parlant, moins considérables qu'on ne pourrait s'y attendre. Mais il ne faut pas perdre de vue que tout ce qui précède regarde des masses purement pélomorphiques, d'étoffe homogène, continue et sans interstices essentiels de texture. Dans les masses plus ou moins clastiques ou même pélomorphiques très-morcelées, il y a eu une susceptibilité de tassement, qui a permis des réductions de volume beaucoup plus fortes, dont nous parlerons plus loin (37 *bis*). — Enfin, il ne faut pas oublier non plus, qu'il n'est question ici que de la compression verticale, agissant seule sur des masses horizontales. Nous verrons que, combinées avec d'autres forces et agissant sur des masses inclinées, elle a joué un rôle fort différent.

§ 36. *Des mouvements oscillatoires horizontaux en général.*

L'histoire des tremblements de terre actuels prouve que ces mouvements séismiques ont dû être fréquents aussi aux époques anciennes. Nous parlons surtout ici des oscillations, portant rapidement certaines parties de l'écorce terrestre dans un sens,

puis en sens opposé. Si l'on suppose un mouvement de ce genre, appliqué à un massif pélomorphe, traversé par le réseau diaclivaire, il est clair que les gerbes ébranlables sur leur base pourront éprouver, à la faveur des diaclives, de légers déplacements relatifs et froisser mutuellement leurs parois, du moins dans certains sens. De là, si cela a eu lieu, des parois diaclivaires demeurées intactes, c'est-à-dire thlasmées, d'autres froissées entre elles, c'est-à-dire tripsées, d'autres ramenées au contact, d'autres décollées de nouveau, etc. Tous les faits signalés jusqu'à présent indiquent bien que des phénomènes de ce genre ont affecté nos terrains durant l'époque pélomorphique. Mais tous ces faits dénotent-ils une norme quelconque? C'est ce que nous devons examiner.

§ 37. *D'une loi de position relative des diaclives tripsées et des diaclives thlasmées, dans le Jura central, et de son origine.*

Nous voici maintenant arrivés au moment de rechercher si, entre les diaclives thlasmées et les tripsées, il n'existe pas quelque rapport de situation habituel.

En traitant des diaclives, nous avons vu que, par districts limités, elles maintiennent respectivement leur parallélisme. Ainsi, dans la coupe du Jura central, courant du pied des Vosges par Montbéliard, Porrentruy, les Cluses de la Birse, de la Sorne, de la Suze, jusqu'aux côtes du lac de Bienne, *on voit la première diaclive principale se diriger à peu près du Nord au Sud, et la seconde de l'Est à l'Ouest;* ou, pour être plus exact, la première se diriger sur une aire entre N 20 E et N 20 O, et la seconde sur une aire entre E 20 N et E 20 O; de façon que, si l'on note un certain nombre de ces directions et qu'on prenne la moyenne, celle-ci indique sensiblement et respectivement le Nord et l'Est, avec un angle à peu près droit.

Or, *on reconnaît,* en même temps, qu'*habituellement les diaclives du rumb Nord sont tripsées et celles du rumb Est thlasmées ;* les parois de la première sont planées et cannelées, celles de la seconde esquilleuses. Il en résulte, naturellement, que les divisions produites par la première diaclive principale dans les massifs sont beaucoup plus nettes, à parois d'un aspect plus mural que celles de la seconde principale : c'est même ce qui nous les a fait classer en première et seconde, comme aussi c'est à ce fait que la première doit de former la *route* la mieux connue des carriers.

Si l'on étend cet examen à l'intérieur du réseau dans les diaclives secondaires et accessoires, on y retrouve la même loi. Dans la même gerbe, toutes *les secondaires et accessoires, parallèles à la principale tripsée, le sont également, et celles parallèles à la principale thlasmée, le sont de même ;* les vides diaclivaires des premières sont sensiblement diminués, ceux des secondes sont demeurés plus larges.

Il s'en suit, en général, qu'une gerbe prismatique se présente avec deux faces opposées, tripsées, et deux autres faces thlasmées; puis, avec toutes ses divisions intérieures, respectivement parallèles à ces faces également tripsées et thlasmées. De façon que la gerbe offre un aspect de division schistoïde dans le sens de la première principale, et un aspect de division plus inégale, plus grossière, plus rude et beaucoup moins frappant dans le sens de la seconde principale. (Fig. 32.)

Il en résulte, enfin, qu'une pareille gerbe éveille l'idée d'une compression de tout son massif, ayant agi perpendiculairement à la première principale, compression qui a froissé et plané toutes les divisions internes parallèles à celle-ci, tandis qu'il ne s'est rien passé de pareil en sens d'équerre, c'est-à-dire, perpendiculairement à la seconde principale, où les parois externes et internes parallèles sont demeurées intactes.

Quelle est l'origine de ce remarquable état de choses? On ne saurait en douter un seul instant : il y a eu compression et froissement mutuel des parois diaclivaires parallèles à la première principale : pour cela, il faut qu'il y ait eu mouvement, poussée, déjètement de la masse totale, perpendiculairement à ces plans.

Or, comment un mouvement de ce genre a-t-il pu exercer son action dans tout l'ensemble de puissants massifs pélomorphiques, occupant de vastes étendues?

Est-ce par une poussée générale et latérale des massifs dans une direction déterminée et avec une quantité de translation quelconque? Non, assurément, car ce procédé aurait fermé les premières diaclives principales, ce qui n'a pas eu lieu; l'existence de ces vides diaclivaires, comme aussi l'inégalité des résultats d'une gerbe à l'autre, prouve, au contraire, que le fait s'est passé dans chaque gerbe individuellement et indépendamment de toute nécessité de transmission de mouvement par les massifs adjacents.

On ne peut donc s'en rendre compte que par un mouvement oscillatoire de la base même du massif général, mouvement qui a pu, dès-lors, affecter chaque gerbe

pélomorphique, tremblant sur sa base partielle, d'où, froissement des parois de ses divisions internes dans un sens déterminé. Ainsi, dans les parties du Jura où le fait dont il s'agit est caractérisé comme nous l'avons vu, il faut supposer une oscillation (ou plusieurs) agissant de l'Est à l'Ouest et réagissant de l'Ouest à l'Est, ou réciproquement.

Cela est-il admissible? Assurément; et l'on peut parfaitement se faire une idée de la marche et des résultats d'une oscillation de ce genre en l'imprimant à quelque masse gélatineuse fissurée, avec cette réserve, toutefois, que le cas des terrains est infiniment plus favorable, puisque, les vides diaclivaires de retrait étant incomparablement plus petits, il n'a fallu qu'une très-petite quantité de mouvement pour en froisser les parois.

Soit une série de prismes (fig. 33) pélomorphiques, divisés entre eux par des fissures diaclivaires (infiniment plus étroites que les proportions de notre figure ne permettent de les représenter), posant sur la base générale AB et ébranlables, par conséquent, sur chacune de leurs bases partielles CD. Appliquons à la base générale une oscillation, c'est-à-dire un double et rapide mouvement horizontal, agissant d'abord d'Ouest en Est, puis d'Est en Ouest. Le premier de ces mouvements aura pour effet de tendre à projeter tous les prismes obliquement vers l'Ouest : or, dans cette projection, toutes sortes de conditions d'hétérogénéité dans les prismes ne permettent pas un parallélisme mathématique entre eux, et les vides diaclivaires étant relativement très-petits, il y aura froissement habituel entre les parois P et P', chaque paroi P donnant et chaque paroi P' recevant une compression et un frottement. Le second mouvement, tendant à ramener la situation originaire ou à la dépasser, les prismes seront projetés à l'Est avec un frottement entre les parois, chaque paroi P' le donnant, chaque paroi P le recevant.

Dans ces deux cas, pour peu qu'il y ait eu contact ou frottement, les esquilles des thlasmes auront passé à l'état de tripse, soit simplement plané, soit plané avec cannelures, soit modifié d'une manière intermédiaire en thlasmes tripsés.

En général, dans cette oscillation, les parois P P', ne pouvant avoir de mouvement relatif que dans le sens horizontal, les cannelures produites par l'aplanissement des thlasmes devront donner naissance à des tripses horizontaux ou à peu près; il

devra d'autant plus en être ainsi, que souvent l'émergence des épiclives a contribué à ranger horizontalement les esquilles des thlasmes.

Lorsque ce mouvement relatif aura été assez oblique, et surtout lorsque l'hydration aura été assez faible, le détachement des parois mutuellement tripsées a eu naturellement lieu sans décollement; en cas contraire, il peut y avoir eu désagglutination avec production de xécollèmes.

Si les oscillations se sont répétées, les premiers résultats ont pu être modifiés par les suivants, mais toujours d'après la même norme générale.

Dans tout cela, les diaclives d'équerre, à parois thlasmées, n'ont, en général, éprouvé aucune modification directement dépendante de l'oscillation dont il s'agit. Cependant, comme il y a pu avoir compression et allongement entre les parois tripsées, cette action a pu tendre à diminuer les vides thlasmés de la seconde diaclive principale, soit jusqu'à froissement mutuel, soit jusqu'à engagement des aspérités de leurs parois; toutefois, ceci n'est qu'une possibilité, dont la réalisation n'est que peu fréquemment justifiée par les faits, ce qui prouve que la compression entre les plans tripsés n'a pas été très-forte.

Tout ceci s'est passé ainsi dans des massifs à vides diaclivaires inoccupés et où des plaques ont pu se développer postérieurement. Mais, dans ceux occupés par les plaques spathiques, il a pu y avoir froissement et brisure de celles-ci, puis réouverture de vides diaclivaires nouveaux à côté des plaques demeurées adhérentes à l'une des parois, puis remplissage nouveau par une nouvelle plaque, et ainsi de suite.

Enfin, si la direction de l'oscillation supposée, au lieu d'avoir été perpendiculaire au plan d'une diaclive principale, lui a été oblique, on aura eu des résultats plastiques intermédiaires. En outre, même en la supposant perpendiculaire à l'une des principales, les résultats plastiques auront été intermédiaires sur tous les plans non exactement parallèles. Toutes ces modifications et d'autres encore, dans la partie du Jura dont nous parlons, ne font que mieux mettre en relief la régularité des faits généraux que nous avons signalés.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons pas pris en considération le poids des masses superposées. Ces masses n'ont-elles pas été un obstacle à la mobilité pélomorphique, que nous supposons dans les gerbes partielles?

Avant de répondre à cette question, insistons de nouveau sur le caractère d'éminente mobilité de l'étoffe pélomorphique, caractère révélé par tous les faits déjà examinés. Rappelons ensuite que, vu la nature même d'une étoffe pélomorphique, une compression quelconque, mais telle qu'elle n'en détruit pas le caractère, ne saurait la priver de sa mobilité de détail, due à son degré de participation à la fluidité. Rappelons encore que, vu l'extrême ténuité des vides diaclivaires relativement aux masses, il a suffi, pour en froisser les parois, d'une très-faible quantité de mouvement, d'un très-petit déplacement relatif.

Maintenant, la pression verticale des masses superposées, envisagée indépendamment de toute oscillation horizontale, a dû produire des réductions de volume par compression, ce qui est, en effet, accusé par les corps organiques déformés et par les diapérasmes. Elle a agi comme une force verticale permanente, se consommant sans cesse contre la résistance des masses inférieures et trouvant en celles-ci une résistance d'autant plus grande qu'elles étaient moins divisées, d'autant moindre qu'elles l'étaient davantage, d'autant plus petite enfin, que ses fissures étaient moins verticales. Elle a donc tendu non seulement à fléchir les prismes verticaux insuffisamment larges ou résistants, mais encore à favoriser toute autre force, de nature à provoquer en eux quelque obliquité à la faveur des vides diaclivaires interjacents. Ainsi, on peut envisager la pression des masses comme une composante verticale, et la force oscillatoire comme une composante horizontale, dont la résultante a précisément déterminé la projection oblique des prismes dans la direction de cette force horizontale, avec plus d'intensité et de facilité que cette dernière ne l'aurait fait à elle seule. Si l'on pose un corps lourd sur une substance gélatineuse fissurée, capable de le supporter sans écrasement, et qu'on imprime une oscillation au tout, on se convaincra aisément que les résultats d'obliquation des masses partielles y seront plus faciles, et plus accusés qu'ils n'auraient été, toutes choses égales, sans le concours de cette adjonction de force. Qu'on nous permette une autre comparaison : un individu, couché et accoudé dans son lit, serait projeté sur la face par une trépidation séismique (on sait que ce fait s'est vu) plus vigoureusement, s'il portait un poids sur ses épaules, que s'il était libre de tout fardeau.

Enfin, quant à l'admissibilité du phénomène d'oscillation, elle est, comme on le

sait, plus qu'amplement justifiée par tous les faits de séismisme de l'époque actuelle.

Maintenant, terminons cet article en résumant ce qu'il renferme.

Par régions (dans le Jura central et peut-être dans tout le Jura) *la première diaclive principale est tripsée, la seconde thlasmée, et il en est de même des secondaires et accessoires respectivement homologues. Ce fait est le résultat de mouvements d'oscillation séismiques successifs, qui ont agi dans le même sens perpendiculairement aux diaclives tripsées.*

Les mêmes résultats de ces oscillations, ayant traversé tous les terrains du Jura jusques et y compris le néocomien, ne peuvent avoir eu lieu avant le milieu de l'époque crétacée.

Nous nommerons ce fait, dans le Jura central, le tremblement de terre des diaclives tripsées.

Il reste à examiner comment les choses, à cet égard, se sont passées dans les autres parties du Jura.

Ce fait prouve aussi, qu'il y avait encore pélomorphisme dans la série des terrains à la fin de l'époque néocomienne.

Enfin, tout ce qui précède fait naître le soupçon que la *constance de directions des diaclives* que nous avons signalée (du moins par régions) comme un fait, *pourrait n'être qu'une apparence, due au tripsement séismique de toutes les parois diaclivaires, dont les plans se sont trouvés le plus près de la position perpendiculaire à la direction de l'oscillation.* Ce tripsement, en mettant plus particulièrement ces diaclives en évidence, aurait donné au réseau un aspect plus régulier, qu'il n'aurait eu sans cette circonstance. C'est ce dont on se rendra mieux compte plus tard, une fois que ces faits auront été étudiés dans tout le Jura. Ceci, en attendant, pour justifier les réserves de notre § 18.

§ 38. *Du déjètement des diaclives.*

Dans l'article précédent, nous avons vu que la compression verticale des masses, bien loin d'empêcher les pélomorphoses des oscillations horizontales, les avait, au contraire, favorisées et avait agi concurremment avec elles. Or, nous avons, jusqu'à présent (§§ 13, 14, 15), envisagé d'une manière générale les diaclives comme moyennement

perpendiculaires aux épiclives, en faisant abstraction des irrégularités qui peuvent régner à cet égard. Nous voici arrivés au moment où nous devons les prendre en considération.

Si, dans une carrière du Jura central, on mesure les angles que forment les diaclives avec les épiclives, on remarque bientôt que les premières principales tripsées et plus planes, offrent plus de facilités à cet égard que les secondes principales thlasmées, moins planes et plus raboteuses. Néanmoins, on remarque aussi, ordinairement, que ces dernières, malgré leurs inégalités, sont, en moyenne, plus généralement perpendiculaires aux plans épiclivaires que les premières. On reconnaît que, très-souvent, les principales, tripsées par les oscillations, forment un angle sensiblement différent du droit avec leur base, et que cet angle se soutient dans le même sens chez ces diaclives à peu près parallèles. De façon, qu'en réalité, les gerbes, au lieu d'être perpendiculaires aux épiclives, ont leurs faces tripsées, inclinées ou déjetées à l'Est ou à l'Ouest. En outre, on constate bientôt que le même fait se répète dans les divers degrés parallèles du réseau diaclivaire interne, secondaire et même accessoire.

S'il se présente des parois sensiblement arquées, on reconnaît aussi qu'elles tournent la concavité de leur courbure du même côté que le déjètement. Si, parmi les autres, on trouve quelque diaclive plus anormale et plus oblique, c'est encore dans ce même sens que cela a lieu. En un mot, on remarque que, dans la même carrière, si les diaclives tripsées ne sont pas sensiblement verticales, les perpendiculaires menées du sommet de chaque paroi, tombent, soit toutes en dehors, soit toutes en dedans de la base de la gerbe. C'est-à-dire, enfin, que toutes les gerbes et leurs subdivisions, envisagées entre deux parois tripsées parallèles, sont déjetées dans le même sens et fort souvent arquées à concavité, regardant du même côté.

Pour peu que cet état de choses soit bien caractérisé, comme cela a lieu fort souvent, il éveille immédiatement l'idée qu'il est le produit d'une force latérale, combinée avec la compression verticale, dont la résultante a agi selon une direction inclinée à l'horizon sur un prisme originairement droit, pourvu d'une certaine flexibilité pélomorphique. On est conduit à penser, que le fait envisagé est, tout comme les tripses eux-mêmes, le résultat d'une oscillation avec pression, et probablement de la même que ces tripses. La figure 34 *a* complètera l'intelligence de ceci. Dans cette figure, MN repré-

sente la position prise par le prisme originaire MN′, sous l'action de la résultante R, appliquée au centre de gravité *b*, résultante équivalente à l'action simultanée de la poussée horizontale O et de la pression verticale P. — On voit aussi que dans ce cas le prisme MN a dû, relativement à MN′, diminuer de hauteur, circonstance qui ne peut naturellement s'observer sur le terrain, mais que l'on peut cependant constater jusqu'à un certain point, lorsque deux prismes adjacents sont, l'un demeuré vertical, l'autre devenu incliné, ce qui n'est pas rare.

Mais ce n'est pas dans une carrière que ce genre de faits est le mieux observable. Que l'on choisisse, en terrain horizontal, une ligne de rochers ou beaucoup mieux une ancienne tranchée de route [1], à peu près rectiligne et courant dans le sens de la seconde diaclive principale. On aura constamment devant soi les parois de cette seconde diaclive, divisée de distance en distance par les affleurements de la première, dont les angles avec l'épiclive, les déviations de la verticale et le sens de celles-ci seront alors parfaitement appréciables, soit simplement à l'œil, soit avec le fil-à-plomb. Voici ce qu'on y verra.

Ou bien les fissures diaclivaires se montreront, en général, sensiblement verticales, et alors il n'y a pas lieu à l'observation du déjètement; mais ce cas n'est pas le plus habituel.

Ou bien les fissures diaclivaires seront déjetées. Alors, en les suivant attentivement, on verra que sur une longueur plus ou moins considérable elles sont, soit toutes, soit en très-grande majeure partie, déjetées dans le même sens; celles qui n'obéissent pas à cette règle, faisant visiblement exception et étant le plus souvent seulement verticales. On remarquera surtout que s'il se présente des gerbes recourbées, ce qui est en réalité très-fréquent dans certains terrains, la concavité regardera dans ce sens; si l'on rencontre, de distance en distance, des diaclives beaucoup plus obliques que les autres, c'est encore vers cette direction qu'elles pencheront.

Si la tranchée n'est pas d'une grande longueur, d'ordinaire on n'y verra régner qu'un seul sens de déjètement. Mais si elle est plus soutenue, on verra souvent se succéder

1. Nous disons une *ancienne* tranchée, parce que, d'ordinaire, dans les tranchées fraîches, les diaclives plus ou moins hermétiquement refermées par syncollème, n'ayant pas encore été mises en évidence par la désagrégation météorique, échappent trop aisément à une observation, qui doit se faire à distance et non de tout près.

des déjètements en sens inverse, soit avec, soit sans intercalation de portions, demeurées verticales. Ce passage d'un déjètement à un autre, se fera, soit brusquement par la compression ou même la trituration de la roche intermédiaire (fig. 34, *b c*), soit après interception d'une région verticale (fig. 34 *d*); au contact de la dernière gerbe verticale avec la première déjetée, on verra souvent la dépression de hauteur éprouvée par cette dernière (fig. 34 *d*). Le tout offrira le phénomène général, que la figure 34 *e* est destinée à retracer.

Du reste et en outre, on reconnaîtra souvent, avec clarté, que la quantité de déjètement a varié selon l'aptitude à compression de l'étoffe des couches. Ce n'est nullement dans les assises les plus purement pélomorphiques que cette aptitude paraît avoir été la plus grande, mais, au contraire, dans les plus chargées de débris lithomorphes les plus clastiques, c'est-à-dire les plus susceptibles de réduction de volume par tassement, bien qu'à d'autres égards elles aient dû, toutes choses égales à une époque donnée, être plus voisines de la solidification. C'est le cas, par exemple, pour un bon nombre d'assises sableuses, ammitiques, de charriage et très-fossilifères, peu reliées par les étoffes pélomorphiques ou spathiques; c'est encore, certainement, le cas pour plusieurs étoffes marneuses, marno-sableuses, etc., et il y aurait, à cet égard, toute une étude à faire. C'est ainsi que, si l'on a sous les yeux une assise clastique intercalée à deux assises de calcaire compacte, on verra très-souvent la même ligne diaclivaire se déjeter beaucoup plus obliquement, en traversant la première, comme le représente la figure 34 *f*, dans laquelle l'assise pointillée est de charriage. — Mais il y a plus : c'est que souvent la quantité de réduction de la couche clastique intercalée a été, relativement à celles qui l'interceptent, tellement plus forte, qu'elle a détruit la continuité originaire de la ligne diaclivaire (fig. 34 *g*), en déjetant, selon *ab*, la portion de cette ligne qui traversait l'assise plus compressible, ce qui fait qu'au premier coup d'œil on ne saisit plus du tout les rapports primitifs qui reliaient les trois portions de cette ligne, maintenant brisée. Si l'on consulte la surface *d*, la paroi déjetée *ab*, que l'on trouvera, le plus souvent, tripsée, selon sa pente, puis les fossiles de deux couches supérieures et inférieures, que l'on reconnaîtra peu comprimés, puis, enfin, ceux de la couche clastique, que l'on verra puissamment comprimés et déjetées *dans le sens de la fissure,* on se convaincra bientôt que ce que nous avançons n'est nulle-

ment une hypothèse, et que réellement cette fissure oblique n'est autre chose que l'ancienne diaclive verticale déjetée.

Tout ce que nous venons de dire se rapporte à un système de couches peu puissant, suivi horizontalement. Ordinairement, dans un petit nombre d'assises, on verra régner le même déjètement sur toute la hauteur découverte. Mais, s'il s'agit d'un ensemble vertical de couches plus considérable, il pourra se faire que, tandis que sur une certaine épaisseur règnera un sens de déjètement, on verra le verticalisme ou le déjètement contraire dominer dans le reste du massif.

C'est-à-dire que, en envisageant ensemble d'un terrain ou de plusieurs étages, le même sens de déjètement n'en traverse pas toujours la série totale, mais qu'il offre, le plus souvent, au contraire, une alternative de verticalisme et de déjètements en sens opposés (fig. 34 *h*), le tout formant, du haut en bas, comme une sorte de zigzag, ce qui s'accorde bien avec l'idée qu'on peut se faire de ce genre de résultat dans une masse de couches d'inégal pélomorphisme, ébranlée par une commotion d'ensemble, combinée avec la pression verticale et avec toutes sortes de facteurs partiels, variables et de difficile appréciation.

Nous avons très-fréquemment observé le déjètement diaclivaire que nous venons de décrire, et nous le croyons à peu près habituel à divers degrés. Bien que nous l'ayons vu souvent varier sur de médiocres longueurs dans le sens horizontal (par exemple quatre fois sur deux kilomètres), et plus rarement dans le sens vertical (à cause des difficultés d'observation), nous sommes portés à croire que, dans une contrée, traversée par les diaclives tripsées de même direction et correspondant à des oscillations séismiques de sens déterminé, il offrira aussi, en moyenne, une certaine constance. Le sens dans lequel il serait reconnu avoir eu lieu, quant au résultat final, indiquerait aussi celui des oscillations, qui a prévalu. — Du reste, *le déjètement en lui-même, ayant eu généralement lieu dans le sens perpendiculaire aux diaclives tripsées, comme les oscillations qui les ont déterminées, ils se lient certainement d'une manière étroite à ce dernier phénomène, dont il est un des résultats, sous l'empire de la pression verticale.*

Nous avons, dans tout cet article, envisagé *le déjètement* dans des couches horizontales, ce qui prouve qu'il *a eu lieu indépendamment des grandes dislocations*. Toute-

fois, il ne se montre pas de même dans les terrains soulevés, et il nous reste à examiner jusqu'à quel point il a pu être modifié dans ce cas. C'est ce que nous verrons à l'article suivant.

Avant de quitter ce sujet, remarquons que ce que nous avons dit plus haut, relativement aux diaclives déjetées, conduit, en outre, à conclure en général, que *les fossiles, indépendamment de leur défiguration par compression verticale, en ont parfois, dans les couches déjetées, éprouvé une nouvelle dans un sens oblique.*

De façon, en outre, que le *sens du déjètement diaclivaire et son degré, indiquent fréquemment ceux des fossiles et que, réciproquement, ceux des fossiles révèlent ce qu'on peut attendre dans les diaclives, caractère utile à l'observation de ces dernières qui, dans ces sortes de cas, sont souvent devenues obscures.*

Faisons encore une remarque : c'est que, si dans la figure 34 *g*, du point *a* comme centre et avec un rayon égal à *ab*, nous décrivons un arc jusqu'à la rencontre de la verticale menée par *a*, *ac* sera l'épaisseur originaire de la couche clastique avant compression, et *cd* la quantité de celle-ci. Si l'on pouvait appliquer ce procédé à chaque couche déjetée de la série jurassique, on obtiendrait la puissance originaire du terrain et la quantité de compression éprouvée. Bien que, dans la très-grande majeure partie des couches jurassiques compactes, non clastiques, le déjètement soit, en général, peu considérable ou nul, comme les couches marneuses, clastiques, etc., ne laissent pas d'être nombreuses, il en résulte que la réduction de puissance originaire ne doit pas laisser d'avoir été considérable. Des calculs approximatifs font voir, que sur mille mètres des terrains de la chaîne du Jura, elle ne saurait avoir été moindre de cent mètres.

Terminons ce sujet, en répétant que ce que nous avons dit s'applique particulièrement aux diaclives tripsées dans le Jura central et que les modifications qui pourront se présenter, à cet égard, dans les autres parties du Jura, devront être mises en rapport avec le fait du déjètement. — Remarquons aussi que, même dans le Jura central, les diaclives thlasmées le plus souvent non déjetées, le sont aussi parfois et d'une manière soutenue, qui reste à mieux étudier et qui dépend probablement de ce que le déjètement peut, parfois, avoir agi diagonalement aux parois diaclivaires d'équerre. — Remarquons enfin, qu'en toute cette matière et bien que le déjètement soit cer-

tainement un fait acquis, il n'en est pas moins nécessaire de multiplier les observations relatives à ses proportions et manières d'être de détail. Dans ce genre de recherches, il est nécessaire que les observateurs évitent avec soin les illusions relatives aux mesures de l'angle dièdre des diaclives avec les épiclives et ne négligent point les diaclives syncollémiques, qu'on retrouve presque toujours avec un peu d'attention.

§ 39. *Du rôle des corps lithomorphiques empâtés dans l'étoffe pélomorphique, durant les mouvements de cette dernière et dans ses accidentations plastiques.*

Dans tout ce qui précède, nous avons fait presque entièrement abstraction des corps lithomorphes, renfermés dans l'étoffe sédimentaire. C'est ici le moment d'en examiner rapidement le rôle : il a été fort simple.

Rappelons d'abord que ces corps, qui existaient à l'état pierreux au sein des dépôts encore mols, sont des concrétions, des cristaux, des débris clastiques, des fossiles calcaires, pyriteux, quarzeux, des groupements moléculaires réniformes, etc. — Partout, les thlasmes, tripses, xécollèmes, diapérasmes, les ont rencontrés, résistant plus ou moins aux phénomènes de compression ou en y cédant par brisure et écrasement à la façon des corps solides. C'est ce que l'on voit de la manière la plus évidente et que l'on reconnaît surtout aisément dans les roches où ils sont peu nombreux. Ainsi, au milieu des crêtes d'un thlasme, des surfaces planes d'un tripse, des cannelures d'un diapérasme, on voit émerger le relief d'une oolite, d'un débris fossile, d'une veine spathique, d'une druse cristalline calcaire, d'un cristal de fer sulfuré ou oxydé, d'un rognon siliceux, etc., soit entier, soit brisé, soit usé à sec, mais jamais avec le caractère de plasticité de la pâte ambiante. (Fig. 35, *a, b, c.*)

Nous avons déjà remarqué ailleurs, que les diaclives ont fréquemment rompu et partagé les fossiles, dont on retrouve les deux moitiés symétriquement engagées dans les parois diaclivaires; il en est de même des autres corps lithomorphes de quelque volume, et c'est dans ces parois qu'il faut surtout observer leurs divers modes d'émergence.

C'est naturellement au milieu des thlasmes non modifiés, qu'ils se présentent le plus entiers, le moins dénaturés; on les voit fréquemment jaillir parmi les esquilles sous l'une ou l'autre des formes que nous avons énumérées plus haut, formes parmi

lesquelles les veines, géodes et autres groupements de calcaire spathique jouent le rôle principal.

Dans les diaclives tripsées, où ils se montrent aussi fréquemment, ils sont souvent empâtés et déguisés par le refoulement de l'étoffe pélomorphique; à part cela, ils y émergent, brisés à sec, sans avoir éprouvé l'aplanissement ou les cannelures qui les entourent et en intersectent la circonscription en s'y arrêtant. D'autres fois, lorsqu'ils étaient de petit volume et peu engagés (par exemple les petits cristaux de fer), ils ont été traînés et ont eux-mêmes tripsé l'étoffe. Ailleurs, ils ont assez résisté pour protéger, sur une petite distance, la région de l'étoffe, située derrière eux par rapport au mouvement. (Fig. 35 *d.*)

Dans les diapérasmes, ils ont souvent servi de sommet inférieur ou supérieur aux colonnettes stylolithiques, et déterminé ainsi la circonscription de l'orifice, qui a filé leurs cannelures. Ils ont, du reste, résisté de diverses manières à la compression verticale, dont nous traiterons tout à l'heure, particulièrement en ce qui concerne les fossiles. (Fig. 35 *d.*)

Dans les cas précédents, il est rare que l'intensité du frottement ait été suffisante pour leur faire prendre, par l'action à sec de leurs propres fragments, quelque chose du poli et du cannelé, que l'étoffe ambiante a perçu plastiquement. Mais, dans les tripses épiclivaires où, par suite de la compression, le frottement était d'une grande énergie, les veinules et petites plaques spathiques ont assez souvent reçu un poli et des rayures de mêmes positions que ceux de la pâte sédimentaire et de caractère assez semblable, mais qui, néanmoins, examinés avec soin et sur un certain nombre d'exemples, révèlent toujours en moyenne quelque imperfection, provenant de brisure et d'écrasement à sec.

Si ces remarques se font le plus aisément dans les roches à pâte fine et à immixtion lithomorphique exceptionnelle, il est aisé de les étendre à celles où l'élément solide pierreux joue un rôle principal, comme les calcaires chargés d'oolites, d'ammites, etc., souvent encore cimentés par une solution spathique. Dans ces sortes de roches, tous les dessins de plastique pélomorphique se trouvent modifiés, altérés, rendus beaucoup plus imparfaits et moins saisissables, bien qu'ils ne puissent échapper à un observateur attentif, qui a préalablement pris connaissance des faits de ce genre

dans des roches plus exclusivement vaseuses. Il se rend dès-lors aisément compte, que les esquilles, les crêtes, les cannelures, les polis, etc., sont modifiés par la persistance solide, l'usure, l'écrasement, la pulvérisation à sec des parties dures, tandis que les formes plastiques, dont il saisit cependant l'ensemble, sont dues à ce qui existe d'étoffe pélomorphique pour lier le tout, et qu'elles se montrent d'autant mieux que celle-ci est plus prédominante.

Du reste, nous avons déjà vu ailleurs, à propos de la plasticité pélomorphique des diverses roches, qu'elle va en diminuant avec l'augmentation de l'élément clastique, pour disparaître lorsque celui-ci règne exclusivement.

§ 40. *Du rôle des fossiles en particulier, comme corps lithomorphes, dans les phénomènes de compression verticale.*

La manière dont les fossiles se sont conduits sous le poids de la compression verticale mérite d'être examinée spécialement. Leurs formes déterminées permettent d'arriver à certaines conclusions, que nous ne devons pas négliger. Bornons-nous à parler ici des coquilles : on étendra aisément ce que nous allons en dire aux autres classes de restes organiques.

Lorsqu'une coquille s'est déposée au sein de l'étoffe pélomorphique, elle y a été enfoncée soit entière, soit brisée. Dans ce dernier cas, la manière d'être de la brisure, quand bien même il y aurait eu écrasement, n'en est pas moins celle d'un corps lithomorphique, qui se divise en fragments aussi petits, multipliés et comprimés que l'on voudra, mais ne portant jamais ni dans l'ensemble ni dans le détail de la configuration finale le caractère de mollesse plastique.

On sait avec quelle exactitude les tests minéralisés donnent, en général, les détails d'une coquille. On sait également avec quelle fidélité les moules intérieurs ou extérieurs en reproduisent les détails internes ou externes. De façon que ces moules n'accusent pas moins rigoureusement toutes les particularités de fragmentation, que ses traits originaires à l'état d'intégrité.

Il en résulte que, lorsqu'une coquille, à l'état organique ou minéralisée, a été écrasée, le moule intérieur de celle-ci doit signaler cette circonstance et ne saurait porter exclusivement les caractères d'une compression plastique sans empreintes

aucunes des brisures du test. Par la même raison, *lorsqu'un moule intérieur, actuellement dépourvu de test, se présente comprimé à la manière pélomorphique, pourvu des mêmes empreintes normales, qu'il offrirait à l'état non comprimé et dépourvu, au contraire, de toutes traces d'empreintes de brisures quelconques, c'est que ce moule, après avoir été modelé dans la coquille non défoncée, a reçu son caractère de compression molle après la disparition du test de celle-ci.*

Cela posé, parmi les coquilles, qui composent la faune d'une couche, on peut distinguer : 1° Celles à test conservé et minéralisé ; 2° celles à test disparu, c'est-à-dire, à l'état de moule.

Dans certaines couches, les unes et les autres se présentent avec des formes suffisamment entières ou des écrasements suffisamment caractérisés comme résultat de brisure lithomorphique, pour n'éveiller l'idée d'aucune déformation plastique, due à la compression verticale. Mais dans certaines autres couches, les fossiles à test conservé se montrent entiers ou brisés à sec, sans défiguration plastique, tandis que les fossiles à test disparu, c'est-à-dire les moules (internes et externes) se présentent remarquablement pourvus de tous les caractères plastiques de cette compression, savoir l'aplatissement mou, sans traces d'empreintes des brisures du test disparu et, au contraire, avec les empreintes normales du test entier.

Ainsi, par exemple, dans le même banc porlandien, les *Ostrea, Terebratula, Pinna, Perna, Spondylus*, etc., ont leurs tests minéralisés, tandis que les *Natica, Trochus, Pteroceras, Pholadomya, Cardinia*, etc., n'en offrent plus de traces ; les uns et les autres fossiles de ces deux catégories respectivement caractérisés, comme nous venons de le dire. (Fig. 36 *a*.)

Que faut-il conclure de là ? que, *lorsque la compression verticale s'exerçait : 1° les tests des premières existaient à l'état minéralisé, jouant le rôle de corps lithomorphique ; 2° qu'au contraire, les tests des seconds n'existaient plus, avaient déjà disparu.*

Ceci conduit à une autre conséquence importante. Puisqu'au moment de la compression il y avait pélomorphisme suffisant pour permettre la déformation plastique des moules, et qu'à ce moment les tests avaient disparu, *il y a donc eu pélomorphisme durant tout le temps nécessaire, soit à la minéralisation, soit à la dissolution des tests.*

Diverses considérations fortifient ce résultat : nous nous bornerons aux deux sui-

vantes. — Non seulement, à l'époque de la compression, les tests étaient déjà minéralisés, mais la plupart (toutes?) des séparations cristallines étaient déjà formées au sein des masses pélomorphiques. En effet, lorsqu'un moule comprimé a renfermé dans son intérieur un groupement cristallin, ce moule a résisté à la compression : c'est ainsi que des nérinées se montrent entières dans la partie de leurs tours, occupée par une géode calcaire et aplaties dans le reste de leur longueur (fig. 36 *b*). — Une autre considération est celle-ci. Les moules sans test, bien que hermétiquement adhérents à l'étoffe ambiante, en sont cependant souvent séparés par une légère teinte, qui tient la place du test, excessivement amincie et qui est souvent de même aspect que l'enduit épiclivaire; malgré cela, il a évidemment fallu que l'étoffe ambiante pût combler le vide en s'appliquant sur le moule. Mais il y a plus : c'est que souvent aussi cette teinte a totalement disparu, et alors il y a continuité tellement parfaite entre le moule et l'étoffe, que l'isolation du premier devient impossible (fig. 36 *c*). Fréquemment, un fossile isolable partiellement, se montre ainsi fondu dans les autres parties de sa circonscription, devenues invisibles. On comprend combien ce fait est démonstratif de l'existence du pélomorphisme, au moment de la dissolution des tests. Aussi est-il probable que de nombreux fossiles ont ainsi totalement disparu; d'où diverses conséquences importantes, qui ne sauraient trouver place ici.

§ 41. *Du mouvement dans les petites failles et des situations relatives des masses faillées.*

Nous traiterons plus tard des failles envisagées en grand et orographiquement; mais nous devons en dire un mot ici à un autre point de vue. En réalité, dans tout ce qui précède, nous avons examiné un grand nombre de cas où il y a faille, c'est-à-dire discordance après séparation. En effet, indépendamment des failles dont on s'occupe ordinairement et qui sont un des éléments des grandes dislocations, le réseau diaclivaire et d'autres fissures irrégulières encore offrent une foule de failles de petite échelle, que l'on mentionne rarement. Il y en a qui traversent des séries de couches plus ou moins considérables, d'autres une couche seulement, d'autres des subdivisions moins puissantes encore, mais toutes sans traverser, en réalité, la masse du terrain. Ce sont ces sortes de failles, qu'on voit si souvent à découvert dans les petites tran-

chées artificielles, où elles offrent divers cas difficilement intelligibles au premier abord. Il est rare que leur discordance dépasse quelques décimètres. Dans une contrée où l'on ne connaît pas à fond les caractères distinctifs de toutes les assises, ces failles échappent aisément à l'observation : on les voit se multiplier à mesure que l'on est plus à même de constater si une couche placée dans le prolongement apparent d'une autre en diffère réellement.

Voici quelques-unes des manières selon lesquelles elles se présentent le plus habituellement, et ce, dans les terrains horizontaux. Le principe de leur production est celui-ci. Une gerbe, mal soutenue du côté de l'une de ses diaclives, glisse obliquement sur un plan incliné (fissure anormale, *cavalier*), formé à l'intérieur de l'étoffe pélomorphique et descend d'une certaine quantité, laquelle n'est jamais très-grande, parce qu'elle est bientôt arrêtée par la paroi diaclivaire adjacente. Il en résulte des enchevêtrements, comme ceux de la figure 37 *a* et *b*, dans lesquels le pointillé représente la position originaire de la portion détachée qui a glissé sur le plan *ab*, à la faveur du vide diaclivaire *bc*.

Ce qui explique ce mécanisme, c'est que la diaclive *cb* est refermée par le contact des masses, et puis que les surfaces de glissement *ab* sont puissamment tripsées.

Souvent aussi, des failles de ce genre se forment sur les bords d'un abrupte d'ablation et à la faveur de celle-ci, figure 37 *c* et *d*; alors elles peuvent être de beaucoup plus grande échelle et la gerbe glissée peut avoir entièrement disparu. Mais, dans ce cas, comme dans le précédent, les surfaces de glissement sont fortement tripsées. Ces surfaces qui, du reste, peuvent affecter toutes sortes de positions, sont fréquentes dans les carrières de certains districts jurassiques, ou même, comme nous l'avons déjà dit, elles sont désignées par des noms vulgaires.

Ces accidents, qui ont lieu sur une médiocre échelle, se reproduisent en grand nombre avec des proportions plus petites dans les détails de dislocation des assises morcelées.

Lorsqu'on a devant les yeux une épiclive découverte sur une surface un peu étendue, si elle appartient à une couche horizontale morcelée ou surtout à une assise relevée et divisée avec ressoudement (fig. 37 *bis*), on se convainc que les morceaux ainsi recollés font très-souvent faille entre eux, de manière à présenter des discordances de quelques millimètres jusqu'à un centimètre et même au-delà. Or, ici, ce sont des

failles d'une nature particulière, que nous avons déjà caractérisées et désignées sous le nom de *faillules*. Ainsi, dans la figure 7, qui représente la coupe d'une couche pareille, divisée en masses discordantes *a, a' a''*..., séparées entre elles par des fissures *f, f· f'*, cette couche, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les fragmentations *a, a', a''* n'en repose pas moins sur le plan épiclivaire, précédant AB tout comme si elle était entière. Les différences de volume et de relief des pièces *a, a', a''*..... ne proviennent donc pas de leur déplacement proprement dit, mais de compressions relatives, différentes de leur étoffe pélomorphique, les unes ayant cédé plus que les autres. Cela est tellement vrai, que souvent les fissures *f, f', f''*.... ne traversent pas entièrement la couche, ne se dessinent pas dans l'hypoclive, et qu'elles vont quelquefois en mourant, sans en rencontrer d'autres pour circonscrire un solide.

Si, au lieu d'avoir sous les yeux une vaste épiclive, on examine attentivement un simple échantillon de quelque calcaire compacte, à pâte fine et à fissures rectilignes nettes, comme les terrains jurassiques supérieurs en offrent abondamment (par exemple les calcaires schisteux lithographiques), on y retrouvera bien vite ces sortes de faillules dénoncées par la discordance de part et d'autre de la mince lame spathique qui les ressoude. On verra qu'elles y sont fréquentes et qu'elles rappellent tout-à-fait ce qui se passerait des deux côtés d'une brisure plane dans une gelée tremblante très-pure. Ainsi, on rencontrera, par exemple, des faits comme celui de la figure 8, dans laquelle *ab* et *cd* sont des fissures rectilignes, qui se perdent à la surface de l'épiclive; ce qui n'empêche pas ces fissures de traverser le feuillet lithographique et de laisser apercevoir clairement (quoique tout roule sur quelques fractions de millimètres) des changements de niveau relatif des deux côtés de leur cours dans le plan épiclivaire. On verra aussi qu'en suivant la fissure *dc* de *d* vers *c*, la quantité de discordance accusée va en décroissant jusqu'à se perdre totalement avec la fissure elle-même, ce qui indique l'extrême flexibilité de l'étoffe pélomorphique dans tous les sens.

Quant aux failles de grande échelle, dont nous nous occuperons plus loin, il suffira de consigner ici que tous les géologues, à qui il a été donné d'observer leurs surfaces de froissement, les ont trouvées tripsées, soit à cannelures, soit planes jusqu'au poli, de la même manière que dans tout ce que nous avons déjà vu : ces tripses des grandes failles sont même ceux qui ont presque exclusivement fixé l'attention.



CHAPITRE V.

MISE EN RAPPORT DES PÉLOMORPHOSES ET DES MOUVEMENTS QUI LEUR ONT DONNÉ NAISSANCE DANS LES MASSIFS RELEVÉS.

---

§ 42. *Remarques préliminaires.*

Nous avons déjà dit plusieurs fois que les accidentations plastiques, examinées dans les masses horizontales, se retrouvent, en général, de la même manière dans les masses inclinées. Cependant, cette identité n'est pas complète et il s'agit d'en examiner de nouveau quelques-unes des plus importantes pour y rechercher des lumières soit sur les mouvements qu'elles accusent, soit sur l'état pélomorphique à l'époque où s'est passé l'acte de relèvement des massifs.

On trouve donc, dans les masses et les plans diaclivaires et épiclivaires des terrains soulevés, tous les faits de plastique de détail déjà décrits, et dont quelques-uns leur sont propres, tels que les tripses épiclivaires. Tous ces faits s'y présentent, sauf quelques-uns, comme ayant préexisté au déplacement de l'horizontalité, comme n'étant point un résultat essentiel de ce déplacement, mais cependant comme ayant été modifié par lui, en divers cas, dans certaines limites.

La situation relative entre les diaclives tripsées et les thlasmées, continue à régner sans que rien n'indique, dans les nouveaux faits survenus, que des exceptions à la règle générale, exceptions correspondant à des cas reconnaissables.

La fréquence du déjètement diaclivaire continue à se montrer dans des proportions semblables à celles des terrains horizontaux, et l'on ne voit point, à cet égard, de modifications portant un cachet de généralité.

Tout annonce qu'au moment du relèvement des massifs, les grands traits de structure interne, reconnus dans la position horizontale, étaient quelque chose d'arrêté, de manière à ne plus y permettre d'altérations essentielles. Mais beaucoup de faits, néanmoins, annoncent aussi qu'il n'y avait ni solidité, ni résistance lithomorphique parfaite empêchant une nouvelle catégorie de résultats d'origine pélomorphique.

Nous voyons les massifs se replier en arcs partiels ou en voûtes entières, se briser en failles à parois puissamment tripsées, se morceler en détails à fragments accidentés de la même manière en petit, laisser leurs couches glisser les unes sur les autres en se cannelant, se planant, modifiant les thlasmes en tripses ondulés, etc.

Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit de la courbure : nous ne pourrions rien y ajouter. Mais il est quelques autres points qu'il s'agit de traiter à part.

Avant d'entrer en matière, rappelons rapidement quelques-uns des faits déjà signalés, et desquels découlent particulièrement les conséquences à établir.

1° Dans les couches soulevées, les tripses épiclivaires sont fréquents ou communs et paraissent généralement courir dans une direction qui se rapproche de celle de la plongée.

2° Ces tripses se montrent d'autant plus habituels, plus puissamment et plus uniformément accusés, que l'angle des couches est plus fort. On en voit déjà apparaître vers 15°, mais en petit nombre ; vers 45° ils deviennent habituels.

3° Ils n'ont jamais lieu dans toutes les épiclives de la série verticale d'un massif, mais de distance en distance dans cette verticale, et cela d'une manière variable, selon les roches, etc.

4° Les diaclives les plus parallèles à la plongée, sont elles-mêmes très-souvent tripsées de la même manière et avec des caractères particuliers.

5° Les diaclives les plus d'équerre à la plongée, sont souvent tripsées, ondulées et refermées par syncollème.

6° Tout indique que ces divers faits sont le résultat d'un glissement de couches les unes sur les autres, par suite de leur poids et à la faveur des vides diaclivaires, rectangulaires au glissement.

Cela posé ou rappelé, nous pouvons maintenant entrer en matière.

§ 43. *Du mode de glissement des couches les unes sur les autres, par suite de la position inclinée.*

Si l'on se représente un massif incliné, subdivisé par son réseau diaclivaire, on conçoit que celui-ci établit entre ses parois, à son intérieur, une multitude de vacuités prismatiques planes et étroites. Chaque couche isolée par ses deux épiclives et ses

systèmes diaclivaires, forme une sorte de parallélipipède à large base, reposant par son hypoclive sur l'épiclive de la couche immédiatement inférieure (fig. 37 *a*).

Par suite de la position inclinée du massif, chacun de ces parallélipipèdes élémentaires de la masse (quel que soit d'ailleurs le mode d'application de la force qui aura amené cette position) est sollicité par son poids à descendre, en glissant sur sa base. Ce poids peut être décomposé en deux forces, l'une perpendiculaire à cette base et produisant compression contre elle, l'autre parallèle à cette même base et efficace comme agent de translation dans ce sens et vers le bas : cette dernière est d'autant plus grande que l'angle des couches à l'horizon l'est davantage.

Si l'adhérence du parallélipipède par ses faces peut être vaincue par cette dernière force, et si, en même temps, la diaclive située vers le bas offre un vide réel, quelque petit qu'il soit (fig. 37 *b*), le solide glissera par son hypoclive sur l'épiclive sous-jacente, descendra de la quantité que lui permettra la vacuité, s'arrêtant, dans le cas le plus favorable, après fermeture de celle-ci. Dans ce mouvement, il tripsera ou pourra tripser à cannelures l'épiclive sous-jacente (et sur-jacente) et les diaclives latérales, puis à ondulations, la paroi de la diaclive qu'il a refermée. Toutes les fois que les adhérences, ou la compression, ou l'angle d'inclinaison, ou enfin les rapports de ces divers facteurs, n'auront pas permis de glissement, aucun des faits ci-dessus n'aura pris naissance.

Afin de simplifier, nous faisons abstraction d'un autre facteur, que nous réintroduirons plus tard.

Des faits de glissement ont évidemment pu se passer de cette manière, et il en est beaucoup qui, visiblement, se sont passés ainsi. Mais est-ce là le mode général qui a donné naissance aux tripses épiclivaires que l'on pourrait qualifier de normaux? C'est ce qu'il s'agit de reconnaître par l'examen même des faits. Il faut donc examiner les caractères des tripses épiclivaires et de ceux des diaclivaires qui paraissent y correspondre.

Tripses épiclivaires. Ce qui caractérise essentiellement le mouvement relatif que nous venons d'esquisser, c'est que chaque couche supérieure aurait glissé de haut en bas sur la sous-jacente. Il en résulte, qu'en envisageant un seul *tripse* comme accident isolé et individuel, produit *dans une épiclive* par la pointe traçante hypoclivaire, ce

tripse a été *décrit en descendant;* au contraire, en considérant un *tripse tracé sur l'hypoclive* par un point épiclivaire, ce tripse a été *décrit en montant.*

Or, lorsqu'on examine une épiclive puissamment et généralement tripsée sous des angles forts, on a ordinairement beaucoup de peine à isoler une cannelure pour l'envisager dans son individualité, ayant clairement une circonscription arrêtée, un commencement et une fin, et nous verrons plus loin pourquoi. Mais lorsqu'on applique ce genre d'investigation à une épiclive moins généralement et moins puissamment tripsée, sous un angle faible, surtout là où elle a encore conservé intactes des régions de l'enduit épiclivaire, et qu'on y parcourt un nombre de tripses suffisant pour permettre d'en saisir le caractère moyen, on remarque qu'ils présentent, disposée dans le sens de la plongée, une partie plus accusée et une partie plus faible. Si le tripse consiste en une cannelure creuse, celle-ci offre une extrêmité plus approfondie et une autre plus superficielle, la première commençant par un abrupte, la seconde finissant par une dépression plus atténuée, la région intermédiaire faisant passage aux deux caractères. Si le tripse consiste en une décortication de l'enduit, plane et légèrement cannelée, elle présente un côté plus nettement circonscrit et un autre plus vague, le premier comme produit par rasement brusque, le second comme taloché. Bref, en général, dans un tripse, dont on peut isoler l'ensemble comme unité d'accidentation plastique, l'un des côtés porte un caractère initial, l'autre final; on y reconnaît une *origine* et une *désinence* liées par des cannelures plus ou moins accusées et parallèles, dont la moyenne peut être envisagée comme l'*axe* du tripse.

Cela posé, lorsqu'on examine attentivement des *tripses épiclivaires,* ainsi individuellement isolables, on trouve qu'*ils ont leur origine vers le haut et leur désinence vers le bas;* on reconnaît, au contraire, que les *hypoclivaires ont leur origine vers le bas et leur désinence vers le haut. Donc, entre deux couches consécutives, qui ont glissé l'une sur l'autre, il y a eu descente de la supérieure vers le bas,* ce qui est le caractère essentiel du mode de mouvement relatif à démontrer.

Tripses diaclivaires par glissement. Envisageons maintenant les tripses diaclivaires, développés dans les mêmes conditions. A cet effet, remarquons d'abord en général que, si l'on considère un seul parallélipipède mobile sur l'épiclive sous-jacente, il ne peut glisser qu'entre les deux parois diaclivaires de deux parallélipipèdes adjacents.

— Si ces deux *parois directrices* sont situées dans des plans parallèles à celui de la plongée (ce que nous avions implicitement supposé tout à l'heure pour simplifier) du massif, selon lequel la pesanteur tend à produire le glissement, on a le cas le plus favorable au mouvement qui pourra avoir lieu avec toute sa quantité, moins, sans doute, les frottements épiclivaires, mais (du moins théoriquement) sans frottement diaclivaire indispensable : c'est évidemment dans ce cas que les chances de puissance des tripses diaclivaires sont les moindres (fig. 37 *a*). — Si, au contraire, les parois directrices ont formé avec le plan de la plongée un angle plus ou moins fort (fig. 37*c*), il est clair qu'une partie de la force de glissement est venue se consommer dans leur rencontre, jusqu'à pouvoir devenir nulle, en même temps que, en cas de mouvement réalisé, *les chances de puissance des tripses diaclivaires ont augmenté avec cet angle*, ce qui est entièrement conforme aux faits observés. — Enfin, lorsque les parallélipipèdes adjacents ont glissé en même temps que le parallélipipède, envisagé d'abord comme seul mobile, plus ou moins vite que lui, il s'est produit de ces intermédiaires, lesquels, néanmoins, n'offrent rien qui ne rentre dans les considérations précédentes. Mais, dans tous ces cas, tant que les divers parallélipipèdes auront glissé sur un même plan, ils auront décrit des *tripses parallèles, non pas à la plongée, mais aux arêtes de la paroi diaclivaire directrice*. C'est ce qu'on remarque généralement.

Ensuite, chaque point de la paroi diaclivaire en mouvement aura décrit, sur l'adjacente fixe, un tripse dont l'origine est en haut et la désinence en bas; tandis que chaque point de l'immobile aura tracé, sur celle en mouvement, un tripse dont l'origine regarde le bas et la désinence le haut. En cas de mouvement simultané, il y aura eu des résultats intermédiaires, la paroi du moindre mouvement jouant à cet égard le même rôle que la fixe dans le cas précédent. — Ici, le mécanisme étant plus complexe, la mise en rapport avec les faits observés est plus difficile; et comme les parois peuvent déjà se trouver tripsées de l'époque des oscillations, il est d'autant plus malaisé de remonter des effets plastiques aux couches probables de mouvement. — Cependant, comme dans une foule de cas les tripses de soulèvement, nés d'un frottement plus intense, sont plus vigoureusement accusés, ils se distinguent de ceux-ci à un facies particulier, dont nous reparlerons. Dès-lors et dans les cas où l'on peut isoler suffisamment des tripses de ce genre (et ce sont ceux où le contact a été incomplet),

on voit clairement que, *lorsque dans l'une des parois les principales origines sont en haut avec les désinences en bas, l'inverse a lieu dans l'opposée,* ce qui s'accorde avec le mode de mouvement en discussion.

Après cela, il est, on le conçoit, souvent arrivé que, par suite de la dislocation des massifs, deux parallélipipèdes des adjacents ont pu cesser d'avoir leurs bases dans le même plan, les plans de celles-ci faisant entre elles un angle plus ou moins aigu, sans que, pour autant, la contiguité originaire ait cessé d'avoir lieu. Dès-lors, une pointe traçante d'une paroi en mouvement, au lieu de décrire sur son adjacente des tripses parallèles aux arêtes de celle-ci, les menait parallèlement à ses propres arêtes, c'est-à-dire, formant avec les premières précisément le même angle que les deux plans bases entre eux. C'est ce qui est arrivé fréquemment, comme le représente la figure 37 *d*.

Il nous reste à examiner celles des diaclives qui, étant dans la direction la plus rapprochée de la perpendiculaire à la plongée (fig. 37 *b*), ont été plus ou moins rétrécies ou refermées par le glissement. Nous n'avons rien à en dire, si ce n'est que souvent elles sont talochées à tripses, ondulés par la simple compression, ou reliés par syncollème, mais que souvent aussi elles ne sont que peu ou point modifiées, et ce, par plusieurs raisons principales : — 1° Elles n'ont point essentiellement éprouvé de frottement, puisqu'il n'y a pas eu mouvement relatif dans le sens de leurs plans entre les accidents des deux parois, amenées au contact. — 2° Parce qu'une portion considérable de l'intensité de glissement devait déjà être amortie par les froissements diaclivaires et épiclivaires. — 3° Parce que cette intensité a même pu être en totalité consommée avant la rencontre des parois. — En effet, on remarque que, du moins *dans les angles moyens, plus les tripses diaclivaires et épiclivaires sont vigoureux, et moins les parois de la diaclive d'équerre ont été modifiées.*

Première conclusion. En général, on voit que tous les faits relatifs aux tripses diaclivaires et épiclivaires dans les couches soulevées, sont expliqués par le mode de glissement que nous avons supposé. Et puis, si même il a existé d'autres modes de glissement, celui-ci a nécessairement, dans certains cas, dû avoir lieu en compliquant l'autre et en modifiant le résultat final.

Hypothèse d'un autre mode de glissement. Nous ne connaissons qu'une autre sup-

position à faire et qui a été faite en effet. On s'est quelquefois représenté la masse des couches soulevées comme tournant autour d'une charnière générale ou plutôt d'autant de charnières partielles qu'il y a d'assises ayant agi individuellement. Dans ce mouvement, qui serait à peu près celui du relevant quelque peu forcé et courbe de la masse des feuillets d'un livre, il se ferait dans chaque couche inférieure, relativement à la supérieure, *une retraite,* comme nous le voyons à la tranche entre les feuillets consécutifs; chaque point épiclivaire inférieur, originairement contigu à un hypoclivaire supérieur, éprouverait, par rapport à ce dernier, un mouvement relatif de descente vers la plongée. — Mais, sans examiner ce qu'il y a d'impossibilités physiques dans le jeu de cette charnière idéale devant permettre d'atteindre des angles quelconques entre zéro et 90°, l'inspection seule des tripses épiclivaires prouve que la chose ne s'est point passée ainsi. En effet, leurs caractères seraient exactement l'inverse de ceux que nous avons reconnus plus haut. L'origine des tripses de l'épiclive serait en bas et la désinence en haut; l'origine de ceux de l'hypoclive serait en haut et la désinence en bas. On s'en convaincra aisément en faisant mouvoir l'un sur l'autre deux volumes posés sur leur plat, l'inférieur relevant le supérieur à frottement, et en y envisageant la marche relative de deux points originairement contigus, se distançant dans ce mouvement.

Il est encore plusieurs autres difficultés, contre lesquelles cette hypothèse viendrait se heurter. Bornons-nous à celle-ci. Nous avons dit que les tripses épiclivaires sont d'autant plus habituels et importants que les angles de relèvement sont plus forts. S'ils devaient leur origine au glissement en retraite, il n'en serait pas ainsi et ils n'auraient évidemment pas moins lieu sous des angles faibles que sous les autres, etc.

Et puis, enfin, si même dans le détail et non dans le fait général, ce mode de glissement avait eu lieu parfois, ainsi que nous l'avons observé, l'autre ne l'aurait pas moins accompagné, passé certains angles.

Conclusion finale. Il faut donc en revenir au premier mode de glissement. Il faut se représenter la naissance des tripses non pas comme due au glissement forcé d'une couche sur une autre qui la relève; au contraire, ***il faut envisager les massifs inclinés comme relevés en masse autour,*** non pas d'une charnière, mais d'***un ploiement concave vers le zénith, sans mouvement essentiel et nécessaire d'une couche à l'autre, mais avec***

glissement accidentel, bien que très-fréquent des couches les unes sur les autres, à la faveur des vides diaclivaires d'équerre à la plongée, et lorsque le degré d'adhérence et l'angle des parois directrices avec la plongée l'ont permis, ce qui a eu lieu, toutes choses égales, d'autant plus généralement et plus puissamment que l'angle du relèvement a été plus fort.

Si, sur une surface plane on dispose, à presque juxta-position, plusieurs rangs de briques parallélipipèdes empilés, encore pélomorphiques; que l'on arrose légèrement l'un ou l'autre de ces rangs pour détremper les surfaces; qu'on encaisse le tout latéralement; qu'on recouvre d'un lambris chargé de poids quelque peu considérables, enfin, que cela fait, on relève rapidement le massif sous un angle fort, il se passera dans son intérieur des faits de glissement et de tripsage, du moins épiclivaires, analogues à ce que nous venons de décrire. L'expérience serait plus complète encore, si elle se faisait sur une étoffe argileuse très-fine, avec des parallélipipèdes fragmentés par arrachure et après une oscillation horizontale, préalablement imprimée à toute la masse.

§ 44. *Examen spécial du mécanisme des tripses épiclivaires.*

Ce genre d'accident est si important en orographie jurassique, et nous aurons de si utiles conclusions à en tirer, qu'il est nécessaire d'examiner de plus près le mécanisme qui leur a donné naissance.

Remarque préliminaire. Il est évident, d'abord, que les tripses épiclivaires seront situés dans des plans parallèles à la diaclive directrice et seulement dans celui de la plongée, au cas où il sera parallèle à celle-ci.

Si les diaclives directrices ne sont pas planes et droites, les tripses en dessineront les ressauts, jarrets et sinuosités, en tant que celles-ci auront elles-mêmes résisté au tripsage diaclivaire.

Comme à l'initiative du mouvement, il y a eu ou pu y avoir souvent attaque de relief ou rupture de syncollème, l'origine portera un caractère particulièrement net et abrupte. Comme, à la suite du mouvement, il a pu y avoir refoulement et transport de substance successivement atténuée par compression, la désinence portera un caractère particulièrement atténué et diffus. C'est ce que nous avons déjà vu.

Sens de la longueur. Si l'on se représente une pointe hypoclivaire, d'abord sans

dimensions, traçant une ligne sur l'épiclive sous-jacente, celle-ci sera égale en longueur à toute la quantité de mouvement M, ni plus, ni moins. — Si l'on rend à cette pointe hypothétique une dimension en longueur L, dans le sens du mouvement, la ligne décrite sera égale à la quantité de mouvement plus cette longueur, c'est-à-dire à $M+L$. — Si l'on suppose ensuite deux de ces reliefs hypoclivaires, consécutifs dans la ligne du mouvement, le premier de longueur L, le second L' et espacés d'une quantité E, ils décriront un système linéaire, dont la longueur totale sera $M+L+L'+E$; Si M est $>$ E ou seulement $> {}^1/_2$ E, cette ligne sera continue : elle sera interrompue en cas contraire et formera deux accidents linéaires distincts, situés dans le prolongement l'un de l'autre. — Si, enfin, on se représente plusieurs de ces reliefs consécutifs, ainsi situés dans la ligne du mouvement, ils décriront de même un seul système linéaire continu ou interrompu, selon les rapports qui existeront entre leurs espacements partiels et la quantité de mouvement; et, pour peu que ceux-ci soient moindres que cette dernière, le tracé sera continu. *Or, les points d'inégal relief ou dureté de l'hypoclive, qui ont joué le rôle de relief traçant, étant habituellement, on le conçoit, fort rapprochés, il en résulte que, malgré une très-petite quantité de mouvement, les cannelures se montrent d'ordinaire sans interruption sur de notables longueurs,* éveillant ainsi à tort l'idée d'un mouvement beaucoup plus considérable qu'il n'a été nécessaire pour les produire.

Sens de la largeur. Si, de même, l'on rend à la pointe traçante une largeur *l*, il est clair que cette largeur sera celle de la cannelure. Dans la supposition des deux pointes consécutives à largeurs *l* et *l'*, on aura trois cas à considérer. Si $l=l'$, la largeur de la cannelure sera partout la même. Si *l* est $>$ ou $<$ que *l'*, la largeur sera d'abord l sur une partie du trajet, puis l' sur l'autre, c'est-à-dire, soit d'abord plus grande, puis plus petite, soit d'abord plus petite, puis plus grande. Mais comme, par suite de la continuité (dans le cas habituel) en longueur, une partie du parcours de l'une empiète sur une partie du parcours de l'autre, *toutes les fois que ces largeurs se succèderont en descendant du plus petit au plus grand,* le plus petit effet se perdant dans le plus grand, *il y aura un vide égal à leur différence.*

Sens de la profondeur. Enfin, si l'on rend au relief traçant une épaisseur P, qui peut être, si l'on veut, la perpendiculaire menée de son sommet sur le plan hypoclivaire moyen, on complètera ce qui précède. Dans le cas d'un seul relief, la puissance

de la cannelure produite en profondeur sera une fonction quelconque de P, que nous pouvons nommer H. Dans le cas de deux reliefs, dont le second a pour hauteur P', et toutes choses égales d'ailleurs, la profondeur de la cannelure sera d'abord H, puis H', fonction semblable de P'; c'est-à-dire que, selon que P sera égal à P', plus grand ou plus petit que lui, il en sera de même de H, par rapport à H', ou enfin que la cannelure sera successivement soit également, soit plus, soit moins profonde dans les deux parties de son trajet. Mais, vu l'empiètement d'une des parties du parcours sur l'autre, *là où, en descendant, un plus petit effet aura succédé à un plus grand, il s'y sera perdu, en laissant un vide.*

Individualité des tripses et quantité de mouvement. Il résulte de ce qui précède, que dans des épiclives tripsées d'une manière générale et continue, il est, le plus souvent, fort difficile de démêler la longueur réelle du tripse, produit par une pointe traçante supposée.

Il est clair aussi que, plus la quantité de mouvement a été grande et plus il est mal-aisé de reconnaître l'*individualité* dont il s'agit, puisqu'il s'est produit des empiètements continuels, qui compliquent le dessin. Or, comme il y a eu d'autant plus de chances que la force de glissement ait sorti tout son effet *là où il y a eu les plus grands angles,* il en résulte que c'est dans le cas de ceux-ci que *cette individualité a le plus disparu* sous les complications, tandis qu'*elle a pu se conserver dans les angles faibles,* où il y a eu une moindre quantité de glissement, et, comme nous le verrons plus loin, une moindre compression entre le poids et l'agent de relèvement. — Toutes les fois que nous avons pu la mesurer, nous ne l'avons jamais trouvée que d'un petit nombre de centimètres au plus, la moyenne n'étant que de quelques millimètres.

Déviations de la forme rectiligne. Lorsque la diaclive directrice, au lieu d'être sensiblement plane et droite, a présenté des inégalités trop notables pour être entièrement amorties ou planées par le frottement, le massif mobile a pu cesser de marcher parallèlement à lui-même et *un système de cannelures anguleux aux premières lui succéder, soit brusquement, soit par une courbe ;* c'est ce qui se voit fréquemment. Dans ce mouvement, le massif glissant ayant nécessairement tourné plus ou moins sur la base fixe, il en est résulté désemboîtement des cannelures hypo- et épiclivaires avec ou sans destruction ou modification, mais *avec nouvelle production de vides* plus considérables encore que ceux que nous avons déjà envisagés.

Vide par non-réduction de reliefs épiclivaires. Tout ce qui précède suppose que les reliefs hypo-épiclivaires se sont, dans le glissement, mutuellement réduits par compression et refoulement à une sorte de plan moyen, qui a maintenu le massif mobile et le fixe à des distances égales, aussi petites que l'on voudra; mais il n'en est rien. Il a suffi de l'un ou l'autre des reliefs inégalement vaincu, pour créer, au-dessous de lui et momentanément, une distance plus grande qu'au-dessus et, partant, un vide qui a pu être fort notable et dont les parois ne sont pas moins pourvues de tripses, nés dans la portion précédente du trajet de glissement.

Autres causes de vides épiclivaires. Parmi d'autres causes de vide entre l'épiclive et l'hypoclive, qu'il serait trop long de détailler, bornons-nous à signaler encore celles qui ont nécessairement résulté du glissement entre couches courbes, toutes les fois qu'un élément à plus fort rayon devenait contigu à un plus faible, etc.

Plaques spathiques hypo-épiclivaires. Lorsqu'on a sous les yeux des tripses diaclivaires, notamment dans des terrains très-inclinés, on est frappé de ce qu'ils sont très-fréquemment incrustés de plaques spathiques, le plus souvent peu puissantes, il est vrai, mais qui font naître la question : Comment, entre deux contacts assez étroits pour produire tripse, sans que rien n'indique un distancement postérieur des masses superposées, les vides nécessaires à ces remplissages ont-ils pu prendre naissance? Ce qui précède répond entièrement à cette question. Les vides se sont formés *nécessairement* par l'empiètement des tripses inégaux, puis plus accidentellement par l'inégalité persistante des reliefs tripsés, les inégalités d'angle de glissement, la non-planification des surfaces, etc. Ici, comme dans les diaclives, et, à plus forte raison encore, les eaux chargées de la substance spathique ont transsudé, filtré par les pores de l'étoffe pélomorphique comprimée, occupé toutes les cavités d'autant plus hermétiquement que celles-ci étaient de petit volume, enfin cristallisé au sein des massifs. — Du reste, ici comme dans les diaclives, quoique moins fréquemment, on rencontre aussi des *plaques doubles* (et peut-être multiples) qui accusent des déplacements successifs.

§ 45. *De la dislocation diaclivaire des massifs relevés.*

Tout ce qui précède fait voir aussi que du relèvement il est résulté une véritable dislocation interne dans les massifs, au point de vue du réseau diaclivaire. Dans la

simple oscillation, les bases générales des masses et partielles des gerbes avaient conservé leurs positions relatives, tandis qu'ici ces rapports se sont modifiés. Quelque petites que soient les quantités de déplacement relatif des parties, qui se sont effectuées dans ce changement, il a dénaturé le réseau diaclivaire primitif. Néanmoins, tout en profitant du jeu que celui-ci lui fournissait, il a d'ordinaire tendu à resserrer les vides du plexus, plutôt qu'à le relâcher. C'est ce qui fait que, malgré leur dislocation réelle (encore fort augmentée par le morcellement de détail dont nous allons parler bientôt), les couches relevées, plus refoulées et en quelque sorte réagglutinées dans toutes leurs fissures, présentent souvent une apparence extérieure plus compacte, un aspect plus massif, une moindre évidence des plans diaclivaires que cela n'a lieu dans des couches horizontales.

§ 46. *Du morcellement.*

Nous avons également annoncé ailleurs que les couches soulevées présentent aussi des faits de morcellement irrégulier. En effet, dans les districts à couches très-redressées et sur de grandes étendues, il est parfois difficile d'ouvrir une carrière qui fournisse des pierres de taille compactes, résistantes et non gélives, et ce, dans les mêmes étages horizontaux qui, à quelque distance, en fournissent de bonne qualité. Si, dans ces sortes de districts, on trouve à découvert, ce qui arrive fréquemment, de grandes surfaces épiclivaires, on y voit se dessiner par mille fissures anormales, faillées et ressoudées, un morcellement beaucoup plus grand que cela n'a lieu dans les mêmes roches non relevées[1]. On conçoit, en effet, que le redressement des massifs n'a pu avoir lieu sans un ébranlement assez considérable, qui a pu avoir pour effet cette dislocation de détail dans la masse pélomorphique, écrasée, du reste, par le poids des couches supérieures; il est possible même que ces ébranlements se soient répétés et que les massifs, avant d'arriver à leur position finale, aient éprouvé des alternatives de relèvement et de rechutes, qui auront puissamment concouru à ce résultat. Ce qui vient encore à l'appui de tout ceci, c'est que fréquemment des gerbes plus ou moins considérables ont été non seulement morcelées, mais les morceaux froissés entre eux

1. Morcellement qui rappelle en grand celui d'un échantillon de roche brisé par un coup de marteau (c'est-à-dire une commotion), appliqué de manière à porter sur son ensemble.

et réagglutinés en brèche, visiblement en dehors de leur enchevêtrement originaire. L'agent de ces réagglutinations est le plus souvent spathique, souvent aussi ferrugineux.

§ 47. *De la compression dans les couches inclinées.*

Nous avons déjà jeté un coup-d'œil sur le rôle de la compression dans les couches pélomorphiques à l'état horizontal, avec ou sans le concours d'oscillations latérales; nous allons essayer la même appréciation dans le cas du relèvement des massifs.

Si l'on envisage momentanément des couches à l'état horizontal ou incliné comme posées sur un plan fixe et de résistance absolue, la quantité de compression qui les sollicite est représentée uniquement par leur pesanteur ou par la composante de celle-ci, estimée sur la perpendiculaire à leur plan. Mais, si l'on suppose au-dessous de ces massifs une force d'application qui a été capable de les relever, celle-ci contribue encore à la compression de toute sa composante, estimée de même selon la perpendiculaire au plan des couches. Par conséquent, lorsque ces deux forces, le poids et l'agent relevant, se sont exercées à la fois, et toutes choses égales d'ailleurs, il y a eu une compression plus grande qu'elle n'était sous la seule action de la pesanteur.

La quantité de cette compression est-elle appréciable par la modification de volume ou de dimensions dans un des parallélipipèdes élémentaires, qu'isole le réseau diaclivaire, et notamment est-elle saisissable linéairement dans l'épaisseur de ce solide? C'est-à-dire, une même couche, dans la situation horizontale, puis dans une position inclinée, offre-t-elle des différences d'épaisseur? Telle est la question [1].

Avant de chercher à y répondre par des faits, remarquons d'abord que ces sortes de comparaisons sont en général fort difficiles à réaliser par des mesurements. D'abord parce que les points aisément abordables, qui mettent à découvert sur un petit trajet une même couche sous des angles suffisamment différents, sont assez rares. En second

1. Ce raisonnement implique l'admission du fait que, sur une petite étendue, la puissance originaire de la même couche ou d'un petit système de couches offre très-peu de variations. Il est probable que cela n'est point absolument vrai comme généralité, cependant il doit très-fréquemment en être à peu près ainsi. Voici un exemple à l'appui de cette assertion. Dans cinq carrières des environs de Porrentruy, qui nous sont parfaitement connues et où les bancs homologues sont constamment désignés par les carriers sous les mêmes dénominations, nous avons, pouce par pouce, fait le tableau de ces bancs, situés dans l'astartien supérieur entre la *Rouge-lave* et le *Banc-Bossu*, formant une dixaine de lits. Les cinq mesurements partiels nous ont donné les chiffres de 126, 136, 137, 134 et 125 pouces, dont la plus grande différence est de 4 pouces sur une moyenne de 10 pieds 6 pouces, différence qui ne correspond ni aux carrières les plus distantes, savoir de 3 kilomètres environ, ni à une marche dans un sens déterminé.

lieu, parce que des différences faibles, bien que réelles, sont difficilement appréciables avec sûreté.

Rappelons ensuite que des masses pélomorphiques plus ou moins imbibées, paraissent, en général, fort peu susceptibles de réduction d'une dimension sans extension des autres, ce qui est le cas ici, puisqu'il n'y avait guère place à cette extension, puisque les couches, qui peuvent l'avoir été le plus, sont celles d'origine clastique, particulièrement susceptibles de *tassement* intérieur.

Cela posé, si l'on traverse, perpendiculairement à leur direction, des massifs inclinés ou des voûtes entières, se raccordant à la plaine, comme cela est très-aisé dans le Jura, on y pourra voir se succéder les couches sous des inclinaisons diverses de zéro à 90°. Si la plus grande compression exercée dans les parties inclinées du trajet des assises s'est formulée par des résultats, les plus appréciables seront certainement la diminution d'épaisseur, puis l'établissement d'un rapport quelconque entre les faits du réseau diaclivaire et les degrés d'inclinaison.

Or, en général, nous n'avons pu saisir de réduction d'épaisseur habituelle et normale dans les massifs inclinés, comparés aux mêmes massifs horizontaux ; cependant, nous reviendrons bientôt sur ce sujet.

Ensuite, nous avons vu, en passant des assises horizontales aux inclinées, en passant des plus aux moins relevées, les rapports entre les diaclives tripsées et les thlasmées (que nous avons étudiés § 37 et attribués aux oscillations), demeurer, sauf les faits de glissement épiclivaire dont nous parlerons, et qui n'altèrent pas essentiellement ces rapports, absolument les mêmes en général.

Enfin, nous avons vu surtout les faits de déjètement diaclivaire, traverser des inclinaisons fort diverses et anti-synclinales d'une manière qui paraît indiquer leur totale indépendance de ces inclinaisons, comme le représente la fig. 38, dans laquelle le déjètement occidental se retrouve sur les deux versants.

Ainsi, en général et à ces divers égards, les résultats de la plus grande compression dans les couches relevées nous ont à peine apparu comme réels ou saisissables. Cependant les difficultés inhérentes à ce genre d'observation doivent nous rendre fort réservés, et nous nous garderons bien de transformer ce qui précède en conclusion.

En effet, plusieurs observateurs signalent des amincissements et des étirements

de couches ou d'ensemble d'assises, et nous croyons en avoir vu nous-même, mais comme cas particuliers. Ces *étirements*, qui ne seraient que la conséquence controversable de la réduction d'épaisseur, se montrent dans trois cas principaux, qui sont les suivants.

Lorsqu'un massif redressé, déchiré à sa partie supérieure, y présente entre des couches moins compressibles, telles que des calcaires compactes, un système plus compressible, tel que des marnes (fig. 39) on croit reconnaître souvent que la puissance de ce dernier est plus grande dans les parties où les angles à l'horizon sont faibles (fig. 39 *a*), plus petits où ils sont forts (fig. 39 *b*). Ces affleurements marneux, d'inégale puissance sur les divers points d'un trajet, se formulant souvent en creux, donnent naissance, lorsqu'ils ont lieu sur une grande échelle, à de véritables vallicules, dont les élargissements ou étranglements sont même sensibles, parfois, sur une bonne carte topographique. Il va sans dire, du reste, qu'il faut se défier ici des apparences de plus grande ou plus petite puissance respectivement occasionnées par l'obliquité ou la perpendicularité dans l'affleurement des masses comprimées relativement aux couches encaissantes, et faire, en tous cas, à cet égard, une défalcation convenable.

Un autre cas est celui de la rencontre violente de deux têtes de faille, qui ont mutuellement comprimé, recourbé et parfois disloqué leurs massifs, comme le représente la figure 40. Dans ce cas, un nombre d'assises, compté en position plus horizontale *AB*, paraît donner parfois une puissance moindre qui a même nombre, mesuré dans ses positions très-inclinées *ab*. Ce résultat serait évidemment dû à la compression : il ne paraît pas rare dans le Jura, bien que le mesurement du contraste, reconnaissable à l'œil, ait rarement été fait, vu les difficultés. Du reste, ce cas de compression a été signalé par la plupart des géologues jurassiens; nous le croyons très-réel et nous y reviendrons à l'occasion du mécanisme des failles, parce que, alors, nous pouvons disposer de données qui nous manquent encore ici.

Un troisième cas est celui des voûtes de grande échelle. Le plus souvent, ces voûtes, qu'on se représente comme assez régulières, sont déjetées dans un sens qui règne ordinairement tout le long d'une chaîne (fig. 41). De façon que, du côté du déjètement, tous les angles sont notablement plus forts que de l'autre et plus forts, bien entendu, que vers le pied de la montagne, où les massifs reprennent l'horizontalité. Or, si,

dans la structure d'une chaîne de ce genre, naturellement découverte par le plan sécant d'une vallée transversale, on est à même de comparer les puissances d'un système d'assises dans des angles voisins, consécutifs et divers du côté déjeté de la montagne, par exemple en AB, ab, a'b', on croit reconnaître, parfois, que ces diverses puissances sont inégales et que la plus petite, *ab*, correspond au plus grand angle d'inclinaison, le tout, sauf certaines réserves que nous verrons plus tard. Ce serait évidemment encore là un fait de compression, car on se rend compte, sans autre étude, que si, comme l'indique le déjètement, il y a eu poussée latérale, la quantité de compression a dû être plus forte en ab, qu'en AB ou en a'b'.

Nous avons dû signaler les faits précédents, vu qu'ils sont indiqués par divers géologues jurassiens et que nous-même croyons en avoir observé de semblables. Cependant, nous devons ajouter ici des réserves importantes.

D'abord, les trois catégories de faits, ci-dessus décrits, ne nous ont jamais, dans la nature, apparu avec les proportions que nos figures exagèrent pour les rendre plus intelligibles. Ensuite, nous ne connaissons aucune preuve directe et *par mesurement* de ces sortes de contrastes. Puis, nous ne les avons pas vus se passer clairement dans des calcaires compactes, mais peut-être dans des assises plus meubles intercalées. Après cela, dans les cas où nous n'avons pu nous refuser à l'évidence de la réduction de puissance par compression, elle nous a apparu plutôt comme le résultat d'un morcellement et broiement, non pas à sec, sans doute (puisque les fragments sont habituellement tripsés), mais cependant à un degré de mollesse sédimentaire des moins fluides. Elle a fait naître chez nous plutôt l'idée d'un écrasement accidentel et peu régulier, que celle de l'effet uniforme d'une aptitude générale à la compression, effet se reproduisant partout d'une manière normale avec le retour des mêmes facteurs.

Enfin, plusieurs cas qui nous avaient d'abord paru offrir très-clairement des contrastes d'inégale compression, notamment dans les angles très-forts, examinés de plus près, ont dissipé notre première conviction, ou du moins considérablement diminué l'idée originaire que nous formions de leur quantité de réduction.

Nous pensons donc qu'un certain nombre des cas signalés par les observateurs dans le Jura, d'une manière générale et sans détails rigoureux, comme présentant des étirements et compressions, ont pu être, à tort, envisagés comme tels, par suite des

illusions auxquelles il est difficile d'échapper entièrement sans une attention particulière et par suite des obstacles presque constamment assez grands à la vérification directe.

Néanmoins, tout cela ne prouve nullement que le redressement des massifs n'ait pas été accompagné d'un certain degré de réduction d'épaisseur des couches, variable selon les angles et les aptitudes des roches, réduction qui a eu lieu, en général, dans des proportions telles que, vu la difficulté des comparaisons des lignes qui en sont la mesure et la faible quantité de celles-ci, elle échapperait à notre appréciation. Les modifications de surface diaclivaires et épiclivaires impliquent elles-mêmes quelque chose de semblable à la compression dans les régions voisines de leur développement. Le remplissage de vides épiclivaires par les plaques spathiques, dû à des filtrations ou à des transsudations de l'étoffe, milite encore dans le même sens. Si les faits d'étirement ou d'amincissement notable, comme cas maximums, viennent à être mieux établis, ils fortifieront évidemment les probabilités du fait général.

En résumé : *dans les couches soulevées, sauf des cas de maximum de compression, qui restent à mieux établir, ce que nous ferons plus tard, et sauf des couches de nature particulièrement aptes, la réduction d'épaisseur se montrerait inappréciable ; cependant on ne peut guère en douter comme fait général et non moins réel, quoique probablement de trop petite quantité linéaire pour être reconnu dans son caractère normal.*

§ 48. *Que les pélomorphoses décrites ne sauraient avoir pris naissance dans des masses à l'état lithomorphique.*

Nous aurons à examiner plus tard quelles différences, dans le degré d'hydration, les pélomorphoses des couches inclinées indiquent relativement à ce qu'on observe dans les couches non relevées. Mais il pourrait se faire que l'ensemble de ces faits, tels que nous venons de les décrire, soulevât d'abord la question : n'accusent-ils pas déjà lithomorphisme complet ? Nous devons examiner ce doute pour l'éliminer, s'il y a lieu[1].

1. On n'oubliera pas qu'il s'agit ici d'une seule *espèce* de faits d'un *genre* qui en comprend plusieurs autres, auxquels nous n'entendons nullement étendre ce qui va suivre. Nous nous garderons bien, du reste, d'aborder ici une tentative de comparaison des tripses jurassiques avec les autres cas de surfaces polies, cannelées ou striées, d'origines fort diverses, minéralogique, de frottement à sec, glaciaire, etc. La description que nous avons donnée des tripses du Jura est probablement la plus complète qui existe d'une des classes de cette catégorie d'accidents, et suffira, en tout cas, amplement pour l'isoler de toutes les autres. Nos tripses, contrairement à la plupart des autres surfaces

Ainsi, les faits d'apparence plastique, examinés ci-dessus dans les terrains soulevés, ont-ils pu prendre naissance dans des masses pierreuses consolidées?

Nous avons déjà vu que les courbures accusent forcément une réponse négative. Or, les tripses épiclivaires sont évidemment de même date que les voûtes et ploiements divers. Nous savons maintenant, en outre, que les plaques épiclivaires se sont développées durant le relèvement des massifs, puisque les vides qu'ils occupent n'existaient pas auparavant ; et comme ces plaques supposent compression de l'étoffe et transsudation de sa base liquide (§ 24), il s'en suit pélomorphisme à un degré quelconque. — Par ces deux motifs et surtout à cause du premier, il serait inutile d'aller plus loin ; cependant, nous tenons à fortifier ces preuves capitales par d'autres encore.

Les tripses épiclivaires donc, ont-ils pu notamment prendre naissance dans le glissement des masses à l'état rigide, à l'état purement lithomorphique?

Assurément non. D'abord, il suffit de *voir* la configuration des cannelures avec toutes leurs modifications, depuis l'état le plus rigoureux jusqu'à leur dégénérescence en formes aplanies, talochées, refoulées avec transport de substance, pour se convaincre que pareil résultat n'a pû naître du frottement de deux corps durs, mais qu'il est dû à celui de deux masses pélomorphiques à un degré non pas très-fluide, mais suffisamment mou pour jouir encore de toutes les aptitudes plastiques, moyennant application d'une force convenablement énergique, comme, par exemple, un ciment hydraulique, s'approchant de la consolidation.

Mais, outre la foule de petits faits, qui démontrent à l'œil le caractère plastique des tripses épiclivaires, sans qu'il soit possible d'en faire la base d'une démonstration raisonnée, il en est un qui est entièrement probant et dont nous n'avons encore pu parler. Dans le jeu relatif des surfaces inégales, les reliefs *r* (fig. 42) de l'hypoclive, naturellement engrenés dans les dépressions de l'épiclive, souvent n'ont pas pu vaincre la résistance des reliefs *s* de cette dernière, situées immédiatement au-dessous. Dès-

polies signalées, constituent non pas un fait accidentel ou peu répandu, mais un fait général dans le Jura. — On peut prendre, du reste, une idée du groupe nombreux de faits analogues dans divers articles du *Jahrbuch* de MM. Léonhard et Broun, et notamment dans l'*Essai d'une théorie générale des surfaces polies*, par M. A. Braun (Jahrb. 1842). — En consultant la littérature relative à ce sujet, on y trouvera déjà proposée par plusieurs observateurs l'opinion de l'état pélomorphique à l'époque de la formation de certaines surfaces polies et celle de la transsudation par compression de diverses substances, imbibant l'étoffe à l'état de solution dans un liquide, telles que non seulement le carbonate de chaux, mais encore la silice gélatineuse.

lors, l'extrémité du relief *r* est restée engagée, et la masse de la couche l'abandonnant comme *esquille syncollème, abc,* a glissé sur un plan de séparation, *ab,* formé à son intérieur, en le tripsant. Même chose est souvent arrivée pour les reliefs de l'épiclive. De façon que, dans ces sortes de cas, il s'est formé un plan moyen de glissement, qui a abandonné à l'épiclive les esquilles *s* (fig. 43) et à l'hypoclive les esquilles *s'*, en ne conservant que des portions des surfaces originairement épi- et hypoclivaires. — Il en résulte que la surface tripsée montre, au milieu de ses cannelures, le dessin en plan des sutures qui circonscrivent les esquilles. — On conçoit que ce fait des ***plans moyens de glissement***, tripsant alternativement la substance des esquilles hypo- et épiclivaires, demeurées engagées, accuse essentiellement l'état plastique de la roche et repousse formellement le caractère de rigidité lithomorphique.

Une autre preuve contre l'existence du lithomorphisme est la suivante. Dans le glissement avec compression, si celle-ci avait été suffisante pour produire les cannelures et le poli dans des masses rigides, les résultats ne devraient pas être moins bien accusés dans les groupes jurassiques les plus chargés de corps lithomorphiques (oolitiques, clastiques, etc); or, c'est cependant précisément ce qui a lieu dans le Jura. Plus les masses tripsées sont d'origine purement pélomorphique, et mieux les tripses y sont vigoureux et réunis; de façon que les parties lithomorphiques, au lieu de favoriser le dessin des cannelures et l'aplanissement, leur ont été un obstacle comme dans tout modelage plastique.

Ensuite, il est évident que le calorique dégagé et les modifications chimiques provoquées par la compression et le frottement, ont dû être infiniment moindres dans des masses encore pélomorphiques que dans des masses pierreuses. Dans ces dernières, elles auraient certainement atteint un degré éminent, dont les produits, que l'on remarque fort bien dans ces sortes de cas, ne sauraient entièrement échapper à l'observateur. Or, ici l'on ne voit rien de semblable : les étoffes, comparées à celles des terrains homologues non relevés, ne présentent aucune différence appréciable; les minéralisations nouvelles n'y ont point pris naissance; aucun enduit des surfaces polies ne révèle l'action ignée; les gémisures de voie aqueuse s'y montrent toutes pareilles à celles des diaclives. Les dendrites manganitiques ont, dans les cas de polissage les plus favorables, simplement obtenu le poli métallique, qu'une médiocre compression commu-

nique à leur poussière noire; tout au plus, dans certains cas, le degré des oxydations et l'hydratation des combinaisons de fer disséminée dans l'étoffe se montrent-ils modifiés par le changement du jaune au rouge, comme cela se voit au contact de tout feu médiocre allumé dans le voisinage d'une roche calcaire, et encore ne pourrions-nous affirmer que telle est l'origine de ces modifications. Toutes ces circonstances, entièrement d'accord avec l'état pélomorphique, ne sauraient s'être passées ainsi, s'il y avait eu lithomorphisme.

Le seul petit fait de détail qui, au milieu de toutes sortes d'impossibilités, pourrait paraître militer en faveur d'un frottement à sec, est celui de certaines veinules spathiques (et partant originairement lithomorphes) rayées ou polies avec les tripses. Mais d'abord, en règle générale, toute émergence spathique, quelque peu considérable, a évidemment résisté, produit désordre, brisure et déviation sans tripsage, ce qui se remarque encore jusque dans les veinules de 2 ou 3 millimètres : or, s'il y avait eu frottement à sec, ces émergences auraient été planées comme tout le reste, ainsi que cela se voit non seulement dans les polis artificiels, mais dans les polis glaciaires, etc. L'objection dont il s'agit ne concerne donc que de très-petites veines généralement moindres d'un millimètre ou plus petites encore, et que l'on voit traversées plus ou moins nettement, et d'autant plus nettement qu'elles sont plus petites, par le tripsage avec ses détails. Cependant, si on les examine de bien près, on remarque : 1° Que presque toujours, en réalité, elles n'ont pas été nettement traversées par les lignes de tripsage, qu'elles interrompent celles-ci par une région plus confuse, plus terne et ne reproduisant pas complètement les détails de l'étoffe. — 2° Qu'elles les ont le plus souvent fait légèrement dévier de la ligne droite par une résistance. Deux caractères qui n'ont pas lieu dans les polis à sec, comme on le peut constater, notamment avec les stries glaciaires. — Du reste, enfin, il ne faut pas oublier que, dans l'acte du frottement mutuel, les points lithomorphes engagés dans la masse pélomorphique ont pu et même dû souvent jouer un rôle prédominant, comme pointes traçantes, et, par conséquent, *lutter parfois à sec* dans leurs rencontres mutuelles.

§ 49. *Réserve finale relative à l'observation des faits dans les couches relevées.*

Plusieurs des faits ci-dessus étudiés sont, comme nous l'avons vu, sous la dépendance de l'angle d'inclinaison : tels sont ceux de glissement avec tripse et peut-être de com-

pression. Mais il y a ici une remarque importante à faire : c'est que l'*angle actuel des massifs relevés peut être moindre que l'angle maximum atteint au moment du relèvement.* Dans les flancs d'une voûte de couches il n'y a probablement guère lieu d'appliquer cette réserve; mais, dans un massif rupturé, il a pu y avoir rechute, c'est-à-dire retour à un angle plus petit, après avoir atteint un angle plus grand; et, par conséquent, sous un angle moindre, les caractères obtenus à une plus forte inclinaison, caractères que le retour n'a pu détruire, du moins en général. La structure de la fig. 44, qui est assez fréquente dans le Jura, en fournit la preuve. En y jetant un coup d'œil, on s'y convaincra que les couches rabattues *a*, formant originairement un tout avec la crête *b*, n'ont pu perdre l'aplomb qu'après avoir passé par la portion verticale, ce qui n'a pu avoir lieu sans que les couches *b* elles-mêmes l'aient momentanément occupée. Il résulte donc de cette remarque que dans des couches *b*, on peut observer des faits propres à une inclinaison plus grande que celle qu'elles accusent maintenant.

§ 50. *Conséquences relatives à l'état pélomorphique, indiqué par l'accidentation des roches soulevées examinées dans cet article.*

Avant de terminer, consignons les conséquences suivantes, qui résultent de ce qui précède:

1° *Les caractères observés dans les roches soulevées repoussent formellement l'état lithomorphique de ces roches, au moment du soulèvement.*

2° *Ils repoussent également un état pélomorphique très-fluide, ou tel que nous l'avons vu se manifester dans les accidents plastiques antérieurs à l'inclinaison des couches.*

3° *Ils indiquent un état pélomorphique, suffisamment voisin de la consolidation, pour offrir (en général) une résistance notable aux réductions de volume, mais pouvant percevoir encore des empreintes plastiques dans certains cas du maximum d'application des forces soulevantes ;* état pélomorphique dont on peut se faire une idée assez juste (du moins à certains égards) par celui d'un ciment hydraulique, se rapprochant de la solidification pierreuse.

§ 51. *Conclusion de cette section.*

Tout ce qui précède démontre clairement que nos terrains, durant leur état pélomorphique, ont éprouvé une multitude de mouvements dus à des causes diverses.

On peut diviser ces mouvements en deux catégories principales fort distinctes : ceux qui ont précédé les grandes dislocations orographiques et ceux qui les ont accompagnées.

Comme nous le verrons ailleurs, ces grandes dislocations qui ont donné naissance à nos montagnes, ont eu lieu fort tard et ont relevé à la fois les terrains secondaires et tertiaires. Si, même jusqu'à démonstration, il restait quelque doute au lecteur à cet égard, il n'en est pas moins vrai qu'ils n'ont eu lieu qu'après la terminaison totale des dépôts jurassiques et que, durant la formation de ces terrains, auxquels il faut ajouter le trias, il n'y a eu aucune dislocation et ablation de nature à changer et altérer notablement la succession et la situation des couches, puisque, nulle part, on ne trouve de lacune ou de discordance dans toute cette série[1].

Soit donc que les grandes dislocations, une fois commencées, aient été multiples, soit qu'elles aient porté un caractère d'unité, il n'en est pas moins vrai qu'une période, relativement calme, les a précédée, et a duré tout le temps indiqué. Néanmoins, c'est durant cette période qu'ont eu lieu une multitude de mouvements internes.

A mesure, les dépôts, la décomposition des corps enfouis, la pression croissante des couches supérieures sur les inférieures, la production du réseau diaclivaire, enfin les trépidations séismiques, ont imprimé à la masse des assises une foule de petits mouvements, dont les résultats se sont formulés par une foule de faits de plasticité pélomorphique, obéissant à certains rapports de position. C'est durant cette époque qu'ont pris naissance la majeure partie des faits de décomposition, de minéralisation, de retrait diaclivaire, de ressoudement des fissures, de froissement des parois, de compression verticale, etc., mais sans apporter à l'ensemble des massifs aucun déplacement de grande échelle, aucun relèvement, ploiement ou enlèvement de couches, aucune grande faille, aucune modification proprement orographique.

L'avènement des grandes dislocations a interrompu cet état de calme relatif, et en donnant naissance à toutes sortes de ruptures, déplacements et ablations, a, au point de vue pélomorphique, produit les courbures, les étirements, les glissements, les

1. Nous parlons essentiellement ici de la chaîne du Jura proprement dit : les Alpes dauphinoises, qui font la désinence méridionale du Jura, offrent une exception. Nous exceptons également quelques faits de stratification transgressive, qui se montrent dans le détail des terrains et ne sont que de petite échelle.

tripses diaclivaires ondulés, épiclivaires et anormaux; enfin, dans certains cas, le morcellement irrégulier des assises.

On voit que ce qui précède indique déjà des limites à la durée du pélomorphisme. C'est maintenant cet important sujet que nous devons aborder et traiter plus explicitement.



CHAPITRE VI.

DE LA DURÉE DU PÉLOMORPHISME DANS LES ROCHES DU JURA.

§ 52. *Qu'une longue durée du pélomorphisme n'a rien d'absurde.*

Tout ce qui précède indique amplement que le pélomorphisme dans nos roches jurassiques n'a pas été un phénomène instantané ou momentané, mais qu'il a duré plus ou moins longtemps. Ce sont les limites approximatives de cette période que nous voudrions rechercher. Faisons auparavant quelques remarques préliminaires.

D'abord, et bien qu'on lise dans divers ouvrages de géologie que la consolidation des couches en a immédiatement suivi le dépôt et que les choses se passent encore ainsi au fond des mers actuelles, nous ne saurions nullement admettre cette opinion en tant que générale. Il peut exister et il existe probablement, en effet, des cas qui conviennent à cette assertion, mais il y en a certainement, en revanche, une multitude qui la contredisent formellement. Les plages vaseuses de nos côtes, de nos lacs, de nos étangs, qui se maintiennent, pour ainsi dire, indéfiniment à l'état pélomorphique, tant qu'elles ne sont pas exondées et qui, une fois découvertes, se solidifient en donnant lieu à de véritables terrains géologiques, ces plages le prouvent entièrement. Il en est de même des fonds argileux, marneux et boueux de toutes nos tourbières, qui persistent, à cet égard, depuis des temps à nous inconnus. Donc, la solidification immédiate comme généralité est repoussée pour toute une catégorie des faits de l'époque actuelle, qui nous sont le plus accessibles, et il n'y a rien d'étonnant ni d'absurde à admettre une durée plus ou moins longue de l'état pélomorphique. Il y a plus : c'est que, d'abord que le lithomorphisme immédiat, après sédimentation, n'a pas lieu, rien n'empêche, moyennant le maintien de circonstances convenables, que l'état de mollesse sédimentaire se perpétue, pour ainsi dire, indéfiniment, pour ne cesser qu'à l'avènement d'un concours de conditions déterminé.

Rappelons aussi que, comme nous l'avons déjà établi au § 40, l'état pélomor-

phique a pu offrir, soit immédiatement après le dépôt, synchroniquement et sur des points divers du même système d'assises, soit successivement dans des assises diverses des degrés d'hydration, d'hydraulicité et d'immixtion de corps lithomorphes très-différents. Ainsi, cet état, dans sa plus grande fluidité, peut être caractérisé par la presqu'impossibilité de recevoir une rupture, à cause de la trop grande facilité de déplacement des molécules, tandis que dans sa plus grande solidité, il peut l'être, au contraire, par l'impossibilité de subir un ploiement quelque peu fort, sans rompre. Peut-être ce maximum d'hydration n'a-t-il jamais eu lieu, mais, en revanche, le minimum a certainement existé.

Il est clair que, dans tous les degrés de pélomorphisme compris entre ces deux limites, il y a eu plasticité et aptitude à perception des reliefs et empreintes, que nous avons examinés. Mais les facilités à cet égard ont dû être diverses et varier en sens inverse de l'hydration; de façon que telle pélomorphose, réalisée aux degrés supérieurs de cette dernière par une force donnée, n'a pu, aux degrés inférieurs, se produire qu'au moyen d'une force de même nature beaucoup plus grande. Ainsi, la même énergie de compression verticale qui, à une époque et dans une étoffe données, a fait naître des diapérasmes profonds, a pu, à une autre époque et dans une autre étoffe, ne produire que des tripses planes. Ainsi encore, la même énergie qui, dans certains massifs en mouvement, a produit des tripses épiclivaires puissamment cannelés, a pu, dans d'autres, moins pourvus d'hydration, ne donner lieu qu'à des surfaces frottées et polies d'une manière qui se rapproche davantage de ce qui se serait passé à l'état entièrement lithomorphique, etc. — Cela posé, venons à l'examen des faits qui peuvent servir à jalonner plus ou moins exactement la période pélomorphique.

§ 53. *Solidification immédiate et instantanée impossible.*

D'abord et indépendamment de tout ce qui précède ou va suivre, il est impossible qu'il y ait eu, dans la très-grande majeure partie des cas, solidification immédiate ou presque telle, à la façon des corps concrétionnés ou cristallisés. Car, comme les accidents plastiques existent en foule, accusant des mouvements multipliés et divers, il faudrait que toutes les causes de mouvement qui leur ont donné naissance eussent agi instantanément et simultanément au moment même de la sédimentation, et se fussent

répétés ainsi pour chaque assise, ce qui est, sinon absurde logiquement, du moins totalement incroyable et inadmissible, sensément parlant.

§ 54. *Pélomorphisme jusqu'après décomposition des parties molles des corps organisés.*

L'étoffe pélomorphique d'une assise, en se déposant, a enveloppé les corps organisés qui sont devenus les fossiles actuels. Parmi ces corps, un grand nombre devaient déjà avoir perdu leurs parties molles par décomposition avant l'enfouissement; mais, sans aucun doute, un certain nombre aussi était encore pourvu de ces parties dont la décomposition n'a eu lieu qu'après l'enfouissement. Or, en n'envisageant que ces dernières, et parmi celles-ci, par exemple, les coquilles spirées, nous voyons, qu'en général, les cavités de ces coquilles ont été occupées par l'étoffe pélomorphique. Ce remplissage ne pouvait avoir lieu qu'après la disparition des corps mous. La décomposition de ceux-ci, aussi rapide qu'on veuille la supposer, a cependant exigé un certain temps, durant lequel, soit qu'il y ait encore eu sédimentation de l'assise, soit qu'elle ait déjà cessé, le remplissage s'est effectué. *Donc, il y a eu pélomorphisme jusqu'après la décomposition des corps mous.* S'il y avait eu solidification immédiate, toutes les cavités seraient demeurées vides de l'étoffe pélomorphique, comme cela est arrivé à quelques-unes d'entre elles de difficile accès.

§ 55. *Pélomorphisme jusqu'après minéralisation et décomposition des tests.*

Non-seulement il y a eu décomposition des corps mous, mais il y a eu minéralisation ou disparition des tests, d'où les moules internes et externes. Le tout ne s'est point passé instantanément et a exigé une durée quelconque. Nous savons que, dès-lors, dans les phénomènes de compression, les tests minéralisés ont résisté à la manière lithomorphique et les moules cédé à la manière pélomorphique (§ 40). *Donc, après minéralisation et disparition des tests, il y avait encore pélomorphisme.*

§ 56. *Pélomorphisme jusqu'après séparations minérales particulières par jeux d'affinités.*

L'étoffe pélomorphique déposée, il s'est produit à son intérieur et au sein de son magma différents jeux d'affinité, qui ont donné naissance à des séparations minérales diverses souvent déterminées et cristallines, par conséquent immédiatement lithomor-

phiques, telles que cristaux de fer, de manganèse, de quarz, de calcaire, rognons, siliceux, etc. Or, dans tous les phénomènes de plasticité sédimentaire, ils ont résisté à la manière des corps durs, se montrant soit intacts, soit brisés au milieu même des reliefs pélomorphiques. *Donc, la mollesse sédimentaire a duré jusqu'après leur développement.*

§ 57. *Pélomorphisme jusqu'après la production des plaques spathiques après transsudation des liquides dans les cavités, par suite de la compression.*

Nous avons vu (§ 24) que la compression a déterminé une transsudation dans les vacuités diverses, une occupation plus ou moins complète de celle-ci par le développement de substances à l'état cristallin, parmi lesquelles domine très-particulièrement le carbonate de chaux. Nous avons vu que ces sortes de plaques, partout où elles se montrent au sein des accidents plastiques, y ont résisté à la manière lithomorphique. *Donc, la mollesse sédimentaire a duré jusqu'après leur développement.*

Soit que l'on admette, soit que l'on rejette la distinction établie entre les produits que nous signalons ici et ceux dont nous avons parlé à l'article précédent, les conséquences ne laissent pas d'être les mêmes. Rien n'empêche, du reste, qu'en envisageant ici la date de ces sortes de développements comme antérieure à la production des faits de plasticité, au sein desquels ils se montrent préexistants, il n'ait pu s'en former encore d'analogues postérieurement, ce qui ne fait rien à la question qui nous occupe.

§ 58. *Pélomorphisme jusqu'après la formation des diapérasmes.*

Nous avons vu (§ 23) que les diapérasmes sont nés de la compression des couches supérieures sur les inférieures, et que, parmi les pélomorphoses, ils supposent un état d'hydration particulièrement considérable. Or, la compression qui les a occasionnés suppose le poids d'un certain nombre d'assises superposées. Par conséquent, ils n'ont pu naître au contact de deux assises qu'après le développement d'une série quelconque de couches suivantes. Donc encore, *le pélomorphisme a duré, dans les couches à diapérasmes, au moins pendant tout le temps qu'un certain nombre des assises suivantes ont mis à se déposer.*

§ 59. *Faits de pélomorphisme avant les diaclives de retrait.*

Bien que plusieurs des faits ci-dessus soient plus particulièrement aisés à observer dans les parois diaclivaires, ils n'en sont pas moins réellement indépendants; ils ont non-seulement pu précéder, mais ils ont presque certainement précédé, en effet, l'ouverture des diaclives. Ainsi, en général, on peut envisager que la décomposition des corps mous, la minéralisation et disparition des tests, le remplissage des moules, leur compression, la formation d'une partie des groupements moléculaires, des plaques spathiques de transsudation et des diapérasmes épiclivaires, ont précédé les phénomènes de retrait et se passaient au sein de l'état pélomorphique, dont ils accusent ainsi déjà une notable durée.

§ 60. *Pélomorphisme au moment de l'ouverture des diaclives.*

Nous avons vu que les accidents plastiques des parois diaclivaires accusent de mille manières l'état pélomorphique, et c'est même, en partie, ce qui nous a conduit à les envisager comme des faits de retrait dans les massifs, ce qui implique pélomorphisme. Nous avons vu aussi que les vides diaclivaires, si souvent ressoudés par transsudation, ne le sont jamais par l'étoffe pélomorphique, soit de l'assise elle-même, soit des suivantes; que, par conséquent, à l'époque où elles s'ouvraient dans un système d'assises, elles étaient complètement abritées contre toute intrusion sédimentaire des dépôts sur-jacents, ce qui suppose nécessairement une certaine couverture protectrice non divisée et suffisamment puissante de ces derniers. Donc, *au moment où les diaclives d'un système inférieur se formaient, l'état pélomorphique de ces couches avait duré tout le temps nécessaire à la production de cet abri.*

§ 61. *Pélomorphisme à l'époque des oscillations séismiques, postérieures à l'ouverture des diaclives.*

Nous avons vu (§ 36) que des oscillations séismiques, plus ou moins générales, avaient donné lieu à un froissement particulier des parois diaclivaires, et ce, dans des sens déterminés et reconnaissables. Ce sont les accidents pélomorphiques de ces parois elles-mêmes qui nous ont forcément conduit à cette conclusion. Donc, à l'époque de

ces oscillations, il y avait encore pélomorphisme. Nous avons vu, en outre, que ces oscillations s'étaient répétées, produisant des plaques multiples, ce qui implique transsudation et partant pélomorphisme. Or, si même on supposait la première oscillation, succédant immédiatement à la naissance des diaclives (et nous ne connaissons aucun fondement à cette hypothèse), il y aurait nécessairement encore, entre cette première oscillation et les suivantes, un temps quelconque, qui établit, en tout cas, pour ces dernières, une date postérieure à celle des diaclives. Donc, enfin, *postérieurement à l'ouverture des diaclives et durant les oscillations séismiques révélées comme nous l'avons vu ailleurs, il y avait pélomorphisme.* Rien n'empêche même (à notre connaissance) que cette date soit fort postérieure à celle du retrait. — Ajoutons que rien n'empêche, en outre, et bien entendu, qu'il y ait eu, avant les diaclives, d'autres oscillations que les masses, non encore régulièrement divisées, ne nous révèlent point ou ne révèlent que plus obscurément, ce qui ne fait rien à la question présente.

§ 62. *Aucun signe de cessation de l'état pélomorphique avant les grandes dislocations.*

Tout ce qui précède prouve clairement que l'état pélomorphique a duré fort longtemps pendant la période relativement tranquille, durant laquelle se déposait, tout au moins, la série des terrains jurassiques. Rien dans ces limites ne paraît, en aucune façon, accuser la cessation de l'état de mollesse sédimentaire, et tout, au contraire, y en signale l'existence. Cette période a été terminée par les grandes dislocations qui ont donné naissance, en tout ou en partie, en une ou plusieurs commotions, à la chaîne du Jura. A l'état de calme et d'horizontalité générale succèdent des commotions orographiques, qui soulèvent, inclinent, déchirent, ablationnent les terrains de diverses façons. Dans tout ce mouvement, qu'arrive-t-il au point de vue pélomorphique? C'est ce qu'il faut examiner maintenant.

§ 63. *Pélomorphisme durant les grandes dislocations qui ont donné naissance à la chaîne du Jura.*

a) Accusé par les ploiements. — Sur de vastes étendues et sur une puissance énorme, le système tout entier des terrains est disposé et ployé en voussures nombreuses, où toutes les configurations d'ensemble et de détail accusent non pas seulement une dis-

location à la faveur du réseau diaclivaire, mais une continuité, une mollesse de courbure qui peut se poursuivre jusque dans de très-petits éléments. Donc, dans ce moment d'une première convulsion (qu'elle ait ou non été suivie d'autres), qui n'est séparé de l'état pélomorphique reconnu auparavant par rien qui annonce consolidation ; en ce moment, dis-je, la flexibilité et la flexion générale des massifs conduisent forcément à supposer encore existant un certain degré de mollesse sédimentaire.

b) Accusé par les tripses épiclivaires. — Si nous descendons à l'examen des détails, nous trouvons partout les tripses épiclivaires dans le sens de la plongée, qui accusent à la fois le glissement des assises les unes sur les autres et l'aptitude aux empreintes plastiques, traits démonstratifs d'un état pélomorphique, pourvu d'aussi peu d'hydration que l'on voudra, mais indispensable.

c) Accusé par les plaques épiclivaires et les ressoudements irréguliers. — Nous trouvons cet état accusé en outre par le développement des plaques spathiques épiclivaires sur tous les points des contacts de glissement demeurés vides et par les ressoudements divers plus ou moins complets entre les fragments des assises morcelées par la dislocation de grande échelle, circonstances qui, en impliquant la transsudation par compression, implique également pélomorphisme.

d) Accusé par les faillules de morcellement, etc. — Dans ces assises morcelées (que leur position dans les structures orographiques fait, du reste, distinguer aisément de la division par écrasement dans les couches tranquilles), nous voyons partout les morceaux froissés et tripsés mutuellement avec nombreuses faillules, et ce, jusque dans les roches les plus chargées de l'élément lithomorphique, résultats impliquant pélomorphisme.

e) Accusé par les tripses anormaux des failles de grande échelle. — Partout où les failles de grande échelle ont eu lieu à frottement immédiat, nous en trouvons les parois puissamment tripsées, soit à cannelures vigoureuses, soit jusqu'au poli, et avec développement de gémisures par transsudation ; ou, lorsque quelque massif intermédiaire s'est interposé, nous le trouverons broyé en fragments froissés, comprimés et tripsés ; tous caractères nécessitant pélomorphisme.

f) Accusé par les tripses des fissures anormales d'ablation. — Là où un massif arraché de sa souche par ablation violente a pu éprouver, relativement à celle-ci, un

contact momentané de frottement ou de glissement, nous trouvons les surfaces irrégulières de disjonction chargées de tripses et autres caractères de plasticité pélomorphique.

g) Accusé par la facilité de désagrégation, décomposition et disparition des massifs ablationnés. — En présence des énormes lacunes que l'ablation a laissées de toutes parts dans la masse lacérée des terrains, dont elle a enlevé des systèmes entiers sur de vastes étendues, nous recherchons inutilement le point, la région vers laquelle ces immenses amas de débris, supposés à l'état solide, auraient été transportés; nous ne trouvons pas même de traces de leur charriage. Nous sommes forcément conduit à conclure qu'ils ont subi une dissolution complète au contact d'un agent approprié à ce résultat, agent dont l'œuvre de destruction, ou plutôt de dénaturation, a été évidemment et puissamment facilitée par l'état pélomorphique.

h) Accusé par les galets pélomorphiques. — Cependant, là où certaines circonstances d'ablation, moins intenses, de nature différente et dépourvues de leurs propriétés dissolvantes, ont pu mettre en œuvre à la manière ordinaire les débris de roches, comme le font les eaux ordinaires sur les fragments arrachés à leurs rives, nous voyons encore ces débris, transformés en galets imparfaits et tripsés, accuser l'état pélomorphique dans l'étoffe des terrains jurassiques, durant une époque qui ne peut avoir précédé les grandes dislocations ou ablations, auxquels ils sont superposés et d'où ils dérivent.

Nous chercherons plus tard à établir la chronologie géogénique des dislocations jurassiques, et nous éviterons de nous en occuper ici, avant d'avoir établi toutes les données. Mais ce que nous pouvons dès à présent et légitimement conclure de ce qui précède, c'est que : *L'état pélomorphique des roches jurassiques, après s'être soutenu pendant toute la période de calme relatif qui a précédé les grandes dislocations, existait encore à un degré quelconque pendant celles-ci, ou du moins (s'il y en a eu plusieurs) pendant l'une de celles-ci, auxquelles nous devons les traits orographiques principaux de nos reliefs et pendant une catégorie principale (si pas pendant toutes) des puissantes ablations qui se sont trouvées en un rapport quelconque avec les grandes dislocations.*

§ 64. *Réflexions sur ce qui précède.*

Telle est l'importante conséquence à laquelle nous nous étions proposé d'arriver dans ce chapitre. C'est, croyons-nous, la première fois que l'on a sérieusement réuni les

éléments de ce genre de démonstration. A nos yeux, elle détruit de fond en comble l'idée d'une consolidation immédiate ou peu éloignée des dépôts. Elle lève toutes les difficultés que l'on apportait contre l'application toute naturelle des faits de pélomorphisme à l'interprétation des structures orographiques. C'est ainsi que cesse la nécessité d'avoir recours à un prétendu *ramollissement* général, après solidification et par des réactifs d'un mode d'action fort problématique, ramollissement nécessaire à l'explication de tous les faits de plasticité de l'époque des grandes dislocations. C'est ainsi que disparaissent également d'autres hypothèses, ayant recours à un développement de calorique pour expliquer les plaques épiclivaires, etc. C'est ainsi, enfin, que s'évanouissent toutes sortes d'explications ingénieuses, destinées à des faits isolés de leurs rapports réels et mettant, avant connaissance suffisante des choses, quelque théorie destinée à les expliquer.

Donc, ces diverses idées théoriques, avec tout ce qui s'y rattache, nous ne chercherons pas davantage à les réfuter, bien que les moyens à cet effet abondent de toutes parts. Les opinions les plus simples, les plus sensées et qui découlent naturellement des faits, ont, de tout temps, trouvé des contradicteurs. Aussi ne serons-nous pas surpris qu'après la longue et consciencieuse démonstration, fondée sur l'observation positive dans laquelle nous venons d'entrer, il se trouvât, parmi ceux qui ne se seront pas donné la peine de bien lire, de prétendus réfutateurs, qui préfèreront le mystère d'une hypothèse facile à la clarté d'une démonstration peut-être ennuyante. Mais, heureusement, nous comptons aussi qu'il se trouvera, en plus grand nombre, des esprits disposés à chercher la vérité dans le contrôle des éléments positifs de notre démonstration. C'est à ceux-là que nous faisons appel, les invitant à vérifier tout ce qui précède sur quelque district des roches de la chaîne du Jura.

§ 65. *Réfutation d'une objection, tirée des mollusques saxicaves, sessiles, etc.*

Malgré la *nécessité de conséquences,* découlant toutes immédiatement des faits, nous nous sommes posé consciencieusement à nous-même toutes les objections que nous avons pu découvrir contre la longue durée de l'état pélomorphique. Nous n'en avons trouvé qu'une seule, dont il vaille la peine de s'occuper : c'est la suivante.

Si, durant le dépôt d'une assise, la précédente n'était pas déjà consolidée, com-

ment les mollusques et radiaires, soit sessiles, soit saxicaves, pouvaient-ils trouver les points d'attache et d'habitation solide qui leur étaient nécessaires? Comment, par exemple, les huîtres et les spondyles se fixaient-ils? Comment les astrées et les méandrines prenaient-elles assiette? Comment les crinoïdes s'enracinaient-ils? Où et comment les lithophages trouvaient-ils à se creuser leur loge pierreuse?

Remarquons d'abord que, quand bien même, contrairement à notre opinion, on supposerait la solidification de chaque assise précédente, opérée dès le commencement du dépôt de la suivante, cette solidification dans les couches marneuses n'a jamais donné lieu à une roche entièrement solide, rigide, résistante, pierreuse, en un mot, mais qu'il en est résulté une roche terreuse, tendre et de facile désagrégation. Or, nous voyons cependant très-souvent ces couches marneuses avoir servi de base au dépôt d'une assise suivante, soit marneuse elle-même, soit pierreuse, qui renferme des mollusques sessiles, des polypiers fixés, des crinoïdes à racines[1]. Il faut nécessairement en conclure que ces coquilles et ces radiaires étaient fort peu exigeants sur le degré de lithomorphisme de leur point d'insertion.

Donc, s'ils se contentaient d'une base de consistance marneuse, ils pouvaient non moins aisément s'accommoder d'un sol d'étoffe pélomorphique, pour peu que celui-ci offrît quelque solidité, soit en masse sur tel ou tel point par anhydration suffisante, hydraulicité, immixtion clastique, concrétionnée, etc., soit superficielle seulement par lithomorphisme de l'enduit épiclivaire ferrugineux ou autre.

On rencontre assez souvent des huîtres sessiles sur les épiclives où elles ont vécu. Nous en avons vu sur des dalles oolitiques, sur des couches de calcaire compacte, etc. Dans ces divers cas, lorsqu'il existe un enduit épiclivaire, on remarque le plus souvent qu'elles reposent sur celui-ci, qu'il ne les a pas enveloppées et qu'il préexistait d'ordinaire à la fixation ; cependant il n'en est pas toujours ainsi, et on voit, au contraire, parfois l'enduit recouvrir les huîtres sessiles dont nous parlons. Soit donc qu'il y ait eu solidité suffisante sans enduit ou avec son intervention, toujours est-il que l'on conçoit ces sortes d'insertions sans qu'il y ait eu nécessairement et parfaitement lithomorphisme dans l'assise qui les a reçues.

1. Il va sans dire que nous parlons ici des fossiles *en place*. C'est ainsi que l'on trouve encore des apiocrines debout et enracinées sur le lieu où elles ont vécu, dans des assises marneuses ou à peine marno-compactes.

Si l'on parcourt attentivement une série de quelques centaines d'huîtres fossiles de la même station, par exemple l'*Ostrea solitaria,* souvent si commune dans l'assise ptérocérienne, et qu'on en examine les points d'attache, on y observe les faits suivants. On reconnaît d'abord que, chez un certain nombre, la surface d'insertion est très-petite et ne révèle aucune forme organique dans sa contre-épreuve, laquelle se dessine dans cette espèce avec une perfection particulière sur la valve supérieure. On trouve ensuite que, dans un très-grand nombre, cette surface d'insertion et sa contre-épreuve, dès-lors ordinairement plus larges, indiquent clairement l'état sessile sur une autre coquille, qui est le plus souvent une huître de la même espèce. Il en résulte que le nombre des huîtres, originairement fixées au sol, a été relativement petit, et que, pour cette fixation, il a suffi d'un point solide très-exigu, puisque le plus grand nombre a vécu fixé à d'autres coquilles ou superposé à des individus de l'espèce. De façon que, pour peu que les coquilles libres aient préexisté, c'est à peine si quelque point lithomorphique du fond sous-marin a été nécessaire.

Quant aux lithodomes et à leurs loges, ils ne sont pas rares dans les terrains jurassiques. Mais c'est surtout dans les îlots de coraux qu'ils sont communs, et je ne sais trop si l'on peut les signaler avec une parfaite certitude en dehors de ces sortes de stations; je crois en avoir vu, mais le cas est certainement exceptionnel. C'est principalement la masse même des polypiers qu'ils habitent, et non l'étoffe calcaire ambiante qui constitue le fond antérieur. Du reste, les exceptions à cette généralité ne feraient probablement que signaler quelque point suffisamment consolidé, bien que néanmoins encore pélomorphique, comme nous en verrons bientôt.

Mais ce qui précède ne regarde que la fixation des espèces sessiles d'une assise, relativement à l'assise immédiatement précédente. Il y a d'autres cas où le pélomorphisme des surfaces d'insertion peut paraître plus difficile à admettre. Ce sont ceux où, entre l'assise qui a servi de fond à un dépôt et ce dernier, il s'est écoulé une longue période, par exemple entre la base portlandienne et les couches tertiaires inférieures, séparées l'une de l'autre par toute l'époque crétacée.

Ainsi, sur divers points du Jura, on rencontre des rivages (ou plutôt des bas-fonds, comme nous le verrons plus tard,) tongriens où se voit, avec une parfaite clarté, l'insertion immédiate des fossiles sur le calcaire portlandien. Certains endroits offrent

même de petites falaises avec des cassures nettes, non diaclivaires, à arêtes plus ou moins vives, et sur les deux faces desquelles sont établis, par exemple, des spondyles. A l'aspect des cas de ce genre, on est naturellement porté à conclure qu'il y avait solidification totale de la roche au moment de la cassure et de l'insertion. Cependant, malgré ces premières apparences, nous croyons qu'il n'en était pas ainsi. — Les galets demi-brisés, à arêtes vives par ploiement, dont nous avons parlé ailleurs, nous font voir qu'à un certain degré d'anhydration, l'étoffe pélomorphique pouvait soutenir dans ses cassures ces formes nettement anguleuses. Dès-lors et par cela même, il est évident qu'il y avait solidité plus que suffisante pour recevoir l'insertion de coquilles sessiles. En outre, lorsqu'on examine attentivement la superficie jurassique de ces fonds littoraux, on y voit le calcaire compacte déchiqueté en tous sens d'une telle multitude de petites cavités, plutôt sillonnées et élargies que nettement perforées, qu'on est involontairement conduit à se dire, qu'indépendamment du jeu ordinaire des mollusques et vers saxicoles dans un corps dur, il y avait là des facilités particulières, dues à un certain degré de mollesse humide. Du reste, enfin, ces rivages et leur mise en rapport avec les dépôts tertiaires inférieurs étaient de l'époque des galets tripsés, avec lesquels ils sont en étroite liaison et où, comme nous l'avons vu, tout accusait encore le pélomorphisme des masses.

Mais si, dans ce qui précède, l'absence de preuves directes laissait des doutes au lecteur, nous allons les dissiper entièrement. Le long de ces mêmes rivages se rencontrent fort souvent des loges de lithodomes tertiaires, creusées dans le calcaire compacte portlandien. Elles sont généralement nettes et lisses à leur intérieur, et on en voit dont la coquille a dû atteindre au-delà de trois centimètres de longueur. Au premier coup d'œil, ces cavités impliquent l'état de dureté des masses où elles ont été pratiquées, et, si l'on n'a pas l'habitude de regarder de près ces sortes de faits, on abandonnera malaisément cette idée. Et cependant, elle est fausse, positivement fausse. — En effet, si l'on peut examiner une série d'exemples quelque peu nombreuse, afin que l'une puisse fournir le trait diagnostique qui manque à l'autre, on réunira bientôt les caractères suivants : 1° Parfois, l'intérieur des loges, au lieu d'être lisse, a été légèrement tripsé en long par les stries d'accroissement de la coquille, ce qui ne peut avoir eu lieu sans l'état pélomorphique. 2° Souvent le calcaire portlandien est pénétré, à son

intérieur, de dendrites noires (manganésiques), en toutes sortes de directions; ces dendrites s'y sont évidemment développées durant son état de mollesse. Or, elles forment autour de chaque loge de lithodome une zone frangée et arborisée, qui irradie de sa circonférence, en se perdant vers l'extérieur. Ce caractère prouve clairement qu'au moment où le lithodome creusait la cavité, il y avait pélomorphisme, car ce rapport n'aurait pu s'établir au sein d'un corps consolidé. 3° Souvent l'étoffe de la roche est traversée, en divers sens, de petites fissures irrégulières, faisant des faillules (§ 41) très-saisissables, puisqu'il en est qui montrent jusqu'à plus d'un millimètre de discordance. Eh bien, ces faillules traversent les loges de lithodomes, qu'elles brisent de manières variées, en portant à des niveaux différents les portions de surfaces concaves qui, originairement, formaient continuité. Donc, ces faillules ont eu lieu après la perforation du lithodome; or, elles exigent pélomorphisme; donc, enfin, *à fortiori*, il y avait pélomorphisme durant l'habitation de ces coquilles. — Nous avons sous les yeux, en écrivant ceci, des exemplaires pourvus de tous ces caractères; ils forment une série provenant de Develier-dessus au val de Delémont, de Fregiécourt en Ajoie, du Pissoux (Département du Doubs), etc., etc.

Nous invitons les géologues jurassiens, dont plusieurs, à notre connaissance, possèdent des échantillons de ces loges de lithophages tertiaires, soit dans les calcaires jurassiques, soit dans les calcaires tertiaires eux-mêmes (mais surtout dans les premiers), à les examiner de près; ils y retrouveront probablement des faits identiques ou analogues à ceux que nous signalons. Si, sur un trop petit nombre d'exemplaires, ces faits ne se présentaient pas, il n'y aurait pas à s'en étonner; ils peuvent n'être pas communs et je puis être tombé heureusement sur des exemplaires instructifs. Néanmoins, je suis convaincu que, dans une série d'échantillons quelque peu nombreux, on ne manquera pas de retrouver les éléments de notre démonstration et peut-être d'autres encore à y ajouter.

Résumons cet article. Nous croyons y avoir solidement établi que *les rapports d'insertion et la perforation des roches par les corps organiques marins, ne fournissent point d'objection fondée à nos conclusions, touchant la longue durée du pélomorphisme, et qu'au contraire, elles apportent des faits démonstratifs en sa faveur.*

§ 66. *Divers degrés de pélomorphisme, selon les époques accusées par l'accidentation plastique.*

Nous avons souvent, dans tout ce qui précède, fait remarquer que le pélomorphisme a dû présenter divers degrés d'hydration pendant sa durée; voyons jusqu'à quel point les caractères étudiés révèlent ces différences.

Remarquons d'abord que les surfaces épiclivaires galéniques indiquent de toutes manières la facile mobilité, avec recherche et reprise de niveau, d'une étoffe très-pénétrée de liquide; nul doute qu'au moment où s'arrêtait leur relief superficiel, l'hydration de celle-ci, évidemment à son maximum, n'ait été considérable.

Remarquons ensuite que, de toutes les pélomorphoses signalées, les diapérasmes sont ceux qui supposent la plus grande hydration ou fluidité de l'étoffe. Bien qu'on fasse, moyennant un concours de forces et d'agents convenables, passer par des filières les corps naturellement ductiles, on conçoit qu'une étoffe pélomorphique, pour peu qu'elle ait marché vers la solidification pierreuse, essentiellement non ductile, se serait refusée à la production stylolithique. Aussi le développement du diapérasme, qui n'a pas exigé de vides latéraux comme la plupart des autres accidents plastiques, peut-il avoir précédé l'ouverture des diaclives.

Cette ouverture même des fissures de retrait suppose évidemment, à un degré quelconque, une diminution dans l'hydration de l'étoffe; par conséquent, l'époque qui a suivi ce phénomène a dû offrir un état pélomorphique des roches moins fluide que celle qui l'a précédée. Aussi les esquilles de thlasmes, qui se sont soutenues, en ne fléchissant tout au plus que légèrement sous leur propre poids à l'extrémité, indiquent-elles déjà une compacité plus grande que celle que suppose le mécanisme des diapérasmes.

Plus tard, les tripses diaclivaires cannelés et les esquilles syncollémiques sans diapérasmes, puis les minces et tranchantes crêtes des xécollèmes, si souvent maintenues perpendiculaires aux parois, indiquent un état d'hydration analogue à celui des thlasmes ou peut-être un peu moindre, et ce, à l'époque des oscillations.

Après cela, si l'on compare attentivement les tripses diaclivaires de cette dernière époque, avec des tripses épiclivaires ou des tripses de grande faille non diaclivaire de

l'époque des dislocations orographiques, on trouvera entre eux une différence notable. C'est que rarement les premiers arrivent jusqu'au poli lisse, luisant et miroitant, tandis que les seconds le présentent fréquemment. Dans les tripses diaclivaires, les dendrites manganésiques qui affleurent sont demeurées d'aspect mat et terreux, pendant que dans les épiclivaires elles ont acquis l'éclat métallique par l'intensité du frottement. Bien que, dans cette comparaison, il faille tenir compte de la plus grande compression des masses dans le cas épiclivaire et dans celui des failles de grande échelle, cependant il n'est pas moins certain que si, à l'époque des grandes dislocations, l'hydration eût encore été celle qui a permis la naissance, non seulement des diapérasmes, mais des xécollèmes diaclivaires, le poli ou cannelé miroitant n'aurait point été si fréquemment atteint, car, bien que d'aspect plastique, il suppose déjà une assez notable capacité de résistance, confirmée, du reste, par le défaut d'aptitude générale à la compressibilité habituelle et par le non déjettement diaclivaire durant les dislocations.

Enfin, si l'on envisage l'aptitude qu'ont eu les galets pélomorphiques (§ 32) à prendre des formes roulées et des cassures par insuffisance de capacité de ploiement, on reconnaîtra qu'à l'époque de leur développement l'étoffe qui les compose devait posséder un degré d'anhydration et de solidité, qui n'aurait point permis la naissance des reliefs plastiques délicats exigeant le plus de fluidité, bien qu'elle ait pu percevoir encore des compressions, des contusions et des cannelures.

Bref, il résulte de tout ceci que les faits de plasticité eux-mêmes indiquent assez clairement une décroissance de l'état d'hydration, qui peut ainsi se diviser en quatre époques : — 1° Celle qui est comprise entre la sédimentation et l'ouverture des diaclives. — 2° De l'ouverture des diaclives aux oscillations séismiques. — 3° Des oscillations séismiques aux grandes dislocations. — 4° Des grandes dislocations à la solidification actuelle, en passant par l'exondation, époque qui pourrait peut-être se diviser en deux autres.

§ 67. *Diversités de pélomorphisme dans les roches de même aptitude, au même moment et dans la même verticale, selon leur ancienneté ; pélomorphisme moyen.*

Si l'on envisage la série totale des terrains en un même instant donné et à aptitudes pélomorphiques égales, on conçoit, par ce qui précède, que l'anhydration pouvait

être plus avancée dans des étages inférieurs déjà divisés par le retrait que dans des supérieurs non encore diaclivés. Cependant, puisque à l'époque des oscillations, qui ont laissé leurs traces finales, celles-ci ont, par régions, agi de la même manière sur toute la série, et puisque, en outre, plus tard, il en a encore été de même à l'égard de ploiements de grande échelle, etc., il en résulte, qu'en général, il régnait, à partir de la première de ces deux dates, du bas en haut de la série et excepté peut-être dans les terrains les plus récents, un degré de *pélomorphisme*, qu'on pouvait qualifier de *moyen*, tel qu'il a partout permis des faits de plasticité à peu près pareils. Aussi avons-nous déjà fait remarquer (§ 32), à propos des galets de nagelfluh jurassique d'une même station, que les faits de plasticité qu'ils accusent sont sous la dépendance de l'aptitude pélomorphique des variétés de roche et non sous celle de l'ancienneté relative de celle-ci, lorsque les aptitudes sont les mêmes. Ce degré de pélomorphisme moyen a probablement dépendu de cela, que l'anhydration n'a pu dépasser un certain maximum, qui s'est successivement équilibré de proche en proche dans la série verticale, avant les grands faits d'oscillation et de dislocation. Cependant, malgré cette généralité, qui est démontrée par les faits de grande échelle, il n'en est pas moins fort probable qu'en moyenne aussi les faits de pélomorphisme, *se rapportant aux deux dates précitées*, sont moins accusées dans les étages anciens que dans les récents, par exemple, moins dans le conchylien que dans le corallien. Ces observations de détail nous manquent encore, et nous les recommandons aux géologues jurassiens.

§ 68. *Diversité du pélomorphisme dans le même moment et la même verticale, selon l'aptitude des roches.*

Nous ne ferons ici que rappeler ce que nous avons déjà dit (§ 11), c'est que, toutes choses égales, quant au moment donné et à l'ancienneté des roches, les aptitudes pélomorphiques ont apporté des modifications notables à tous les résultats de plasticité. Nous renvoyons, du reste, à l'énumération de l'article précité, et nous ne consignons ici cette répétition que pour rendre attentif qu'encore à cet égard il sera utile de recueillir plus de données comparatives.

§ 69. *Diversités possibles de pélomorphisme, toutes choses égales, selon les parties du Jura.*

Enfin, il peut se faire que, par suite de circonstances à nous inconnues, tout ce que nous avons dit dans ce chapitre et qui convient particulièrement au Jura central, éprouve des modifications en plus ou en moins dans d'autres parties de la chaîne. Cependant nous n'avons aucune raison de le penser. Au contraire, la présence des grands faits de ploiement jusqu'aux extrêmités orientales et méridionales de la chaîne, jusqu'aux voûtes conchyliennes d'une part et aux néocomiennes de l'autre, nous fait croire que les différences pélomorphiques, s'il y en a, sont de peu d'importance. Peut-être, en certains districts, la prédominance des cassures de grande échelle indique-t-elle quelque réserve à faire! Néanmoins, il est infiniment probable que ce qui pourra être observé de contrastant à cet égard entre les diverses parties de nos montagnes, ne troublera en rien les généralités exposées.

§ 70. *Conséquences de la non admission des conclusions générales de ce chapitre.*

Si, malgré nos efforts, si, malgré la multiplicité des faits exposés dans ce chapitre, nous n'étions pas parvenus à porter la conviction dans l'esprit du lecteur relativement à sa conséquence principale, savoir : *la persistance non interrompue d'un certain degré de pélomorphisme à l'époque des grandes dislocations qui ont donné naissance à la chaîne du Jura,* qu'en arriverait-il? Il arriverait :

1° Que l'on aurait à fournir une autre interprétation à tous les faits de pélomorphisme qu'accusent les structures à l'époque des dislocations, et en tant que ramené dans les massifs jurassiques après une période quelconque de lithomorphisme.

2° Qu'en cas où cette interprétation ne serait pas trouvée, on se priverait d'une vive lumière en tout ce qui concerne les faits d'orographie jurassique.

3° Mais que, néanmoins, les lois de structure orographique que nous établirons plus tard ne seraient compromises en rien, vu qu'elles sortent d'une classification de faits indépendants de l'adoption de telle ou telle opinion relativement au pélomorphisme et à sa durée.

Cela est tellement vrai que, pour nous-mêmes, la connaissance de ces lois a de beaucoup précédé celle des faits de pélomorphisme, traités dans ce chapitre.



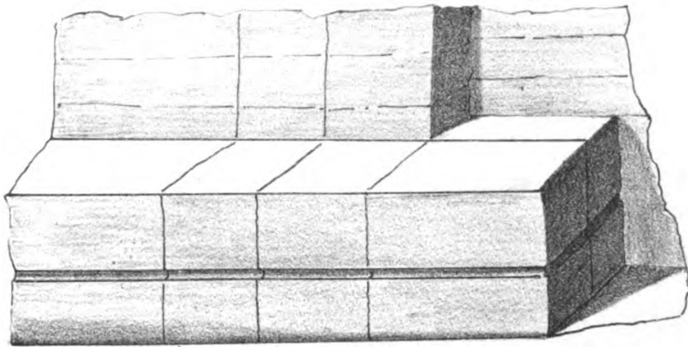


Fig. 1.

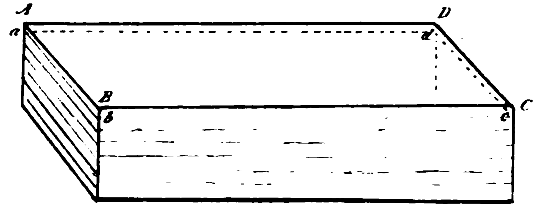


Fig. 2.

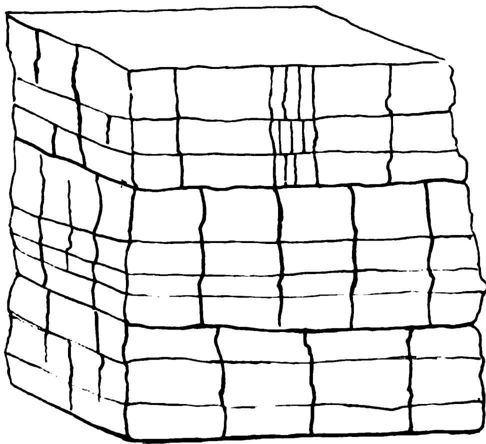


Fig. 4.

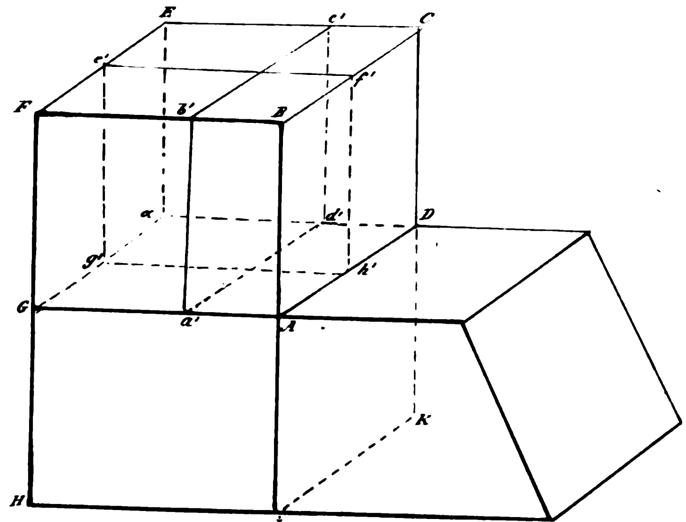


Fig. 3.

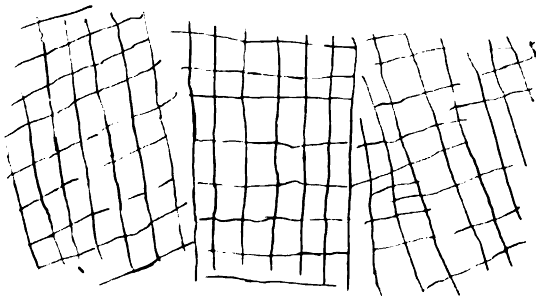


Fig. 5.

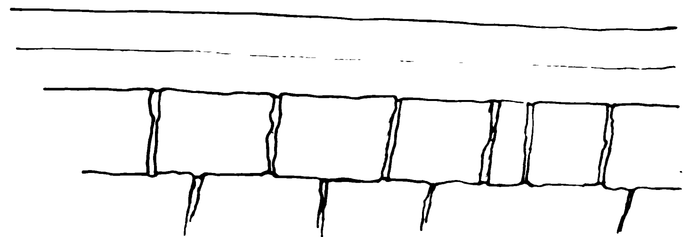


Fig. 5.[1]

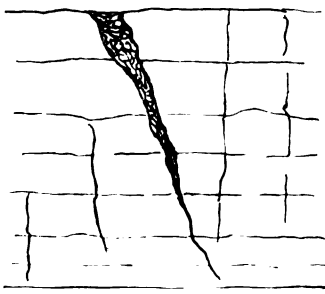


Fig. 6.

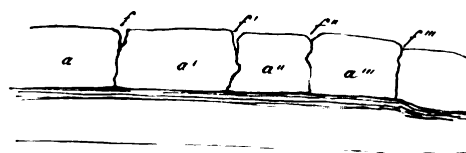


Fig. 7.

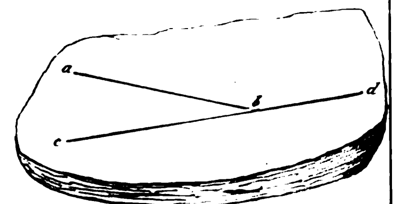


Fig. 8.



Fig. 9.

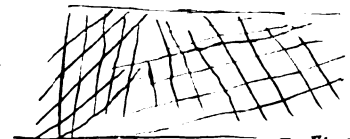
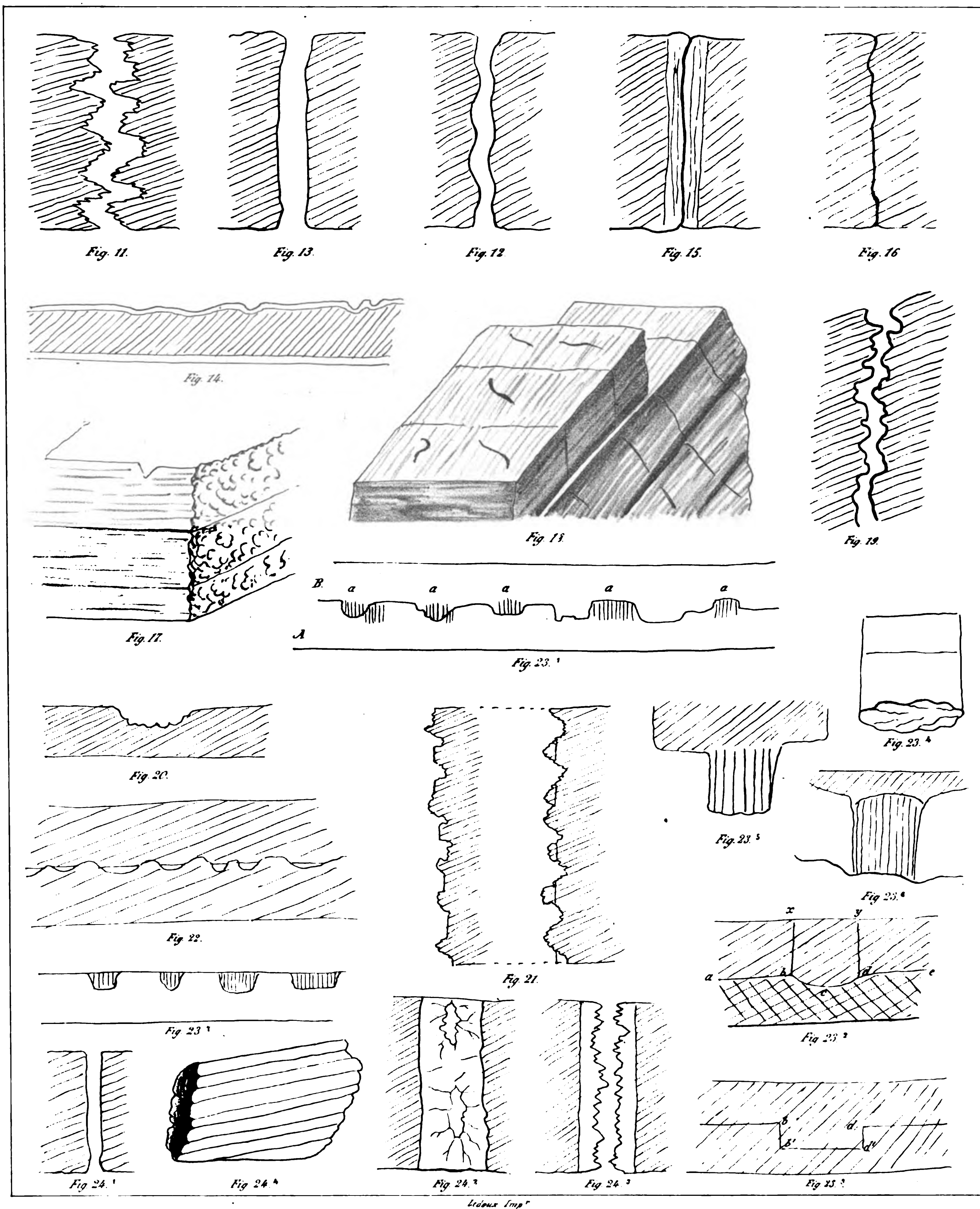


Fig. 10.

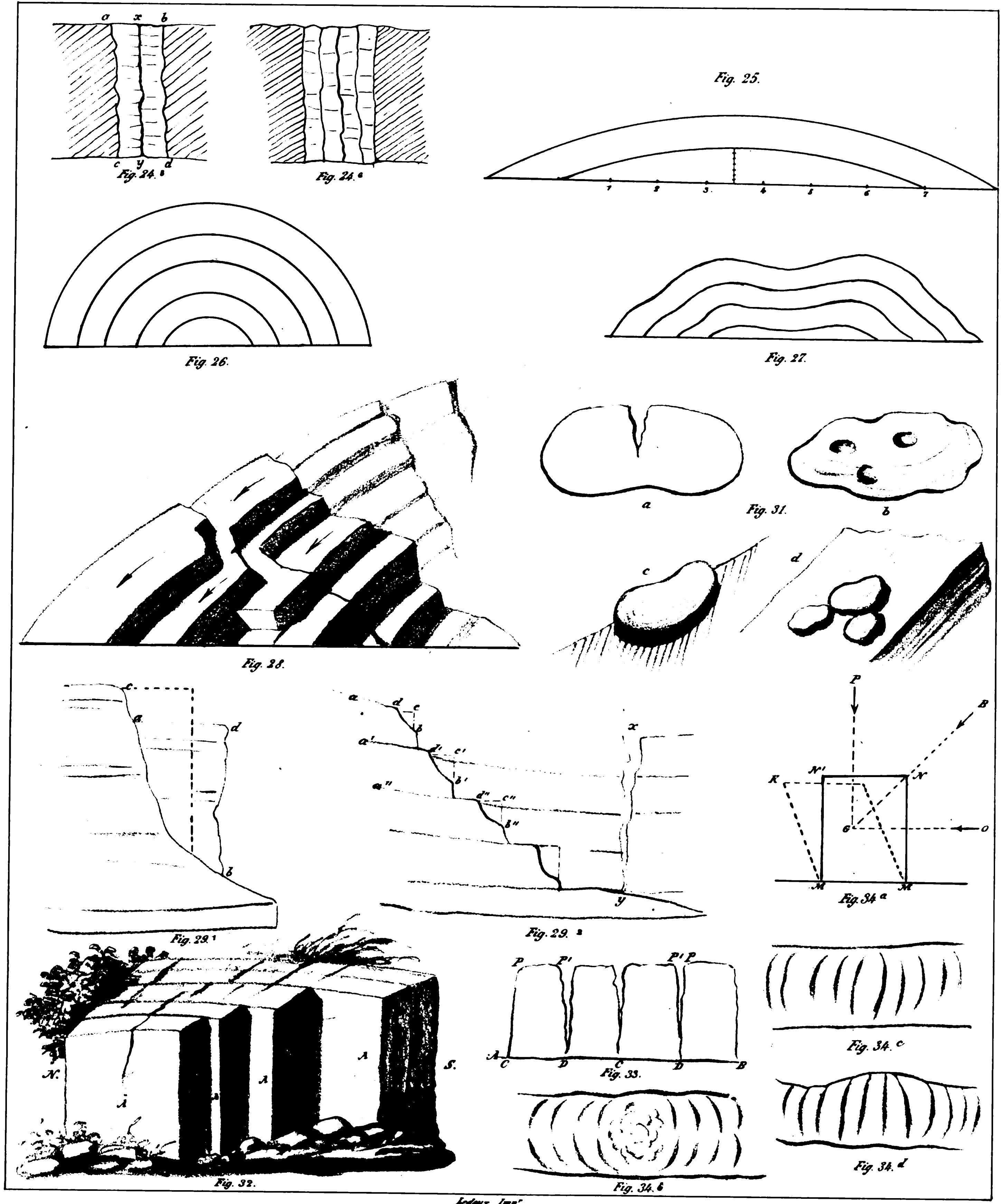
Ledoux Imp.

Thurmann. Orographie.



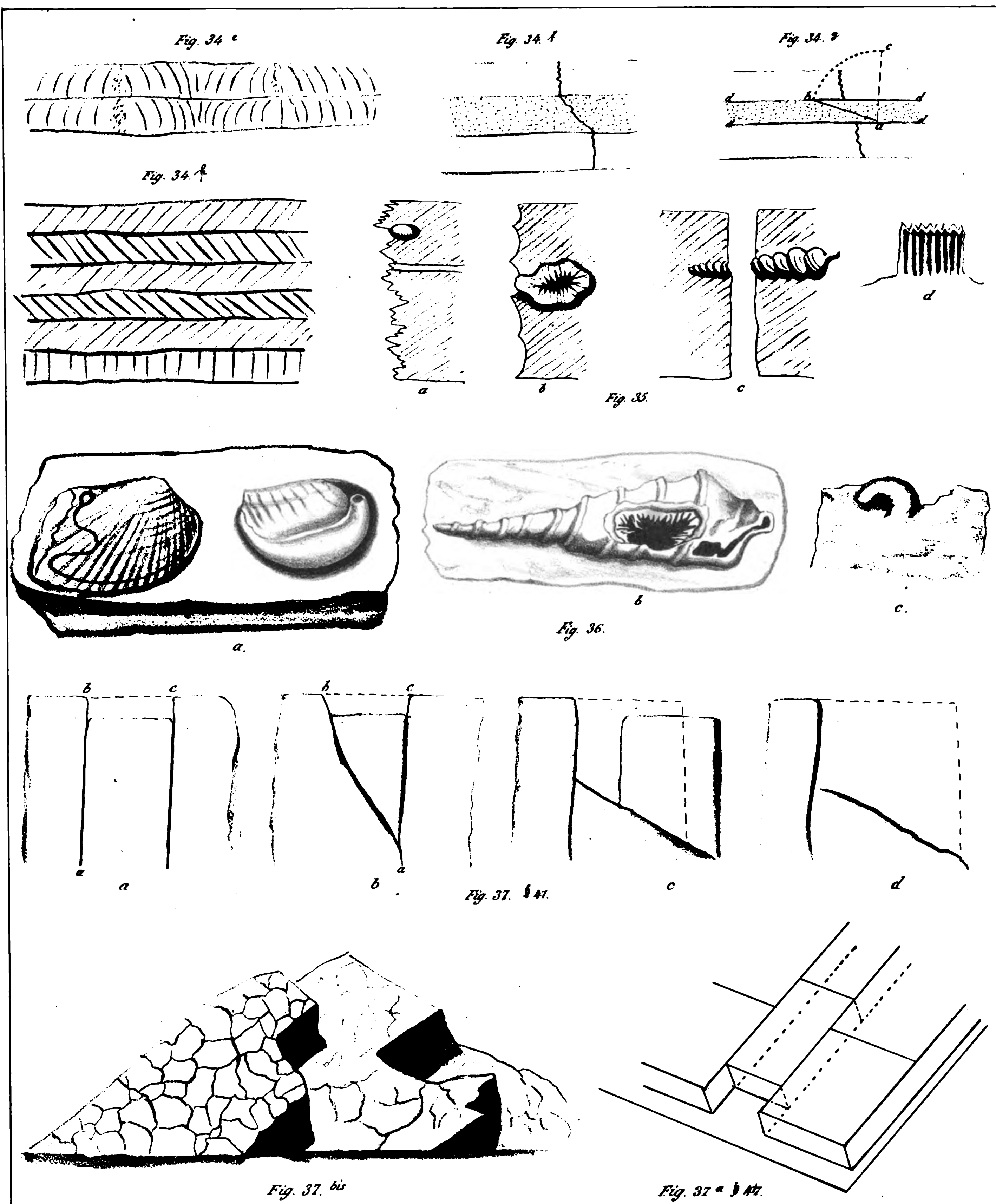
Ledoux Impʳ

Thurmann. Orographie.



Ledoux Impr

Thurmann. Orographie.



Ledoux, Imp.r

Thurmann. Orographie.